

Phys. sp.

556

ℓ

Phys. sp. 556^l

Reis

HAS BEEN FOR W. E. M. K.

DAS WESEN DER WÄRME.

DAS
W E S E N D E R W Ä R M E.

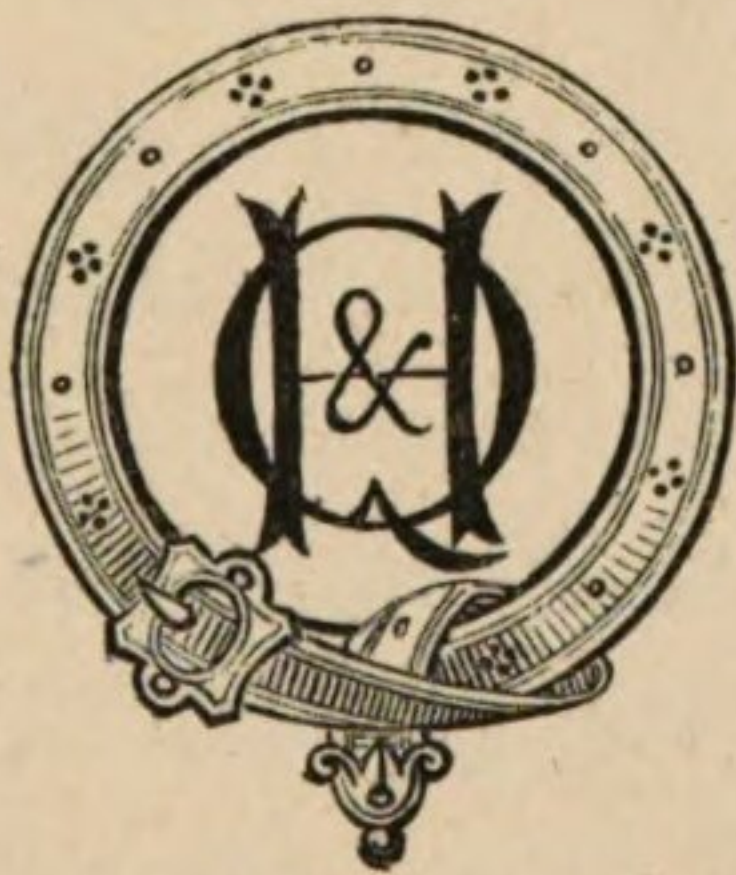
VERSUCH EINER
NEUEN STOFFANSCHAUUNG DER WÄRME
MIT VERGLEICHENDER BETRACHTUNG DER
ÜBRIGEN JETZT GEBRÄUCHLICHEN WÄRMETHEORIEN.

IN ALLGEMEIN FASSLICHER DARSTELLUNG

VON

DR. PAUL REIS

GROSSHERZOGL. HESS. GYMNASIAL-LEHRER.



ZWEITE BEDEUTEND VERMEHRTE AUFLAGE.

LEIPZIG

VERLAG VON QUANDT & HÄNDEL.

1865.

15 - 1/2 g.



Das Recht der Uebersetzung ist vorbehalten.

Vorwort.

Die erste Auflage dieser kleinen Schrift wurde im Buchhandel so oft verlangt und in wissenschaftlichen Zeitschriften so freundlich und wohlwollend besprochen, dass ich mich auf Antrag der Verlagshandlung zu einer zweiten Auflage entschloss. In der ersten waren trotz des in freundlichster Weise zu Gebote gestellten Raumes in dem Programm des Mainzer Gymnasiums von 1863—64 die letzten Theile, nämlich die Wärmestrahlung im Sinne der Stoffanschauung und die gesammte Bewegungsanschauung, sehr zusammengedrängt worden, da man die dargebotene Freundlichkeit nicht missbrauchen und nicht allzuweit über den gewöhnlichen Raum der Programmschriften hinausgehen mochte. Die hierdurch hervorgebrachte Abkürzung jener Theile konnte nun unterbleiben. Die Darstellung der Wärmestrahlung im Sinne der Aethertheorie musste ausführlicher gegeben werden, um dieselbe der Schwingungstheorie gegenüber, welche gerade auf dem Gebiete der Strahlung ihre erste Begründung gefunden hat, nicht gar zu sehr zurückstehend erscheinen zu lassen.

Dass die Schwingungstheorie indess doch nicht überall siegend durchgedrungen ist, beweist eine Anzahl von Schriften, die mir seit dem Erscheinen der ersten Auflage zugesandt wurden, und welche die Wärmelehre in ähnlichem Sinne, wie ich es hier versuchte, behandeln. Ich durfte daher

der Ausarbeitung einer Jugendidee, die ich als Antwort auf eine betreffende Frage schon schriftlich bei meiner Staatsprüfung niedergelegt habe, wohl einigen Raum gönnen. Zur näheren Rechtfertigung mussten aber auch alle Einwände gegen die Bewegungstheorie, die mir bekannt waren, besprochen werden. Desshalb schon war eine eingehendere Betrachtung der verschiedenen Bewegungsanschauungen geboten; noch mehr aber schien mir dies angezeigt durch den Gedanken, das öftere Verlangen dieser Schrift im Buchhandel sei nur dem Wunsche des Publicums zu verdanken, die viel besprochenen Fortschritte der Bewegungstheorie der Wärme kennen zu lernen. So möge denn die Darstellung derselben sammt den Bedenken, die ihr ja, wenn sie Wahrheit ist, nur nützen können, eine freundliche Aufnahme finden.

Mainz, den 31. August 1865.

Der Verfasser.

Inhalt-Verzeichniss.

	Seite.
Einleitung	3
I. Die innere Bildung des Stoffes	6
II. Geschichtliche Entwicklung der beiden Hauptansichten über die Natur der Wärme	17
Erste Grundanschauung.	
III. Die Wärme ist ein Stoff	23
1. Die Entstehung der Wärme oder die Wärmequellen	27
Die Verbrennung od. allgemeiner gefasst die chemische Verbindung	27
Die Sonnenwärme	32
Wärmeerzeugung durch Raumverkleinerung des Stoffes	34
Wärmeerzeugung durch Reibung	42
2. Wirkungen der Wärme	45
Die Ausdehnung	45
Die Schmelzung	49
Die Verdampfung	52
Die Erwärmung	55
3. Fortpflanzung der Wärme	59
Unterschied zwischen Wärmestrahlung und Wärmeleitung	59
Die Wärmeleitung	61
Die Wärmestrahlung	64
Allgemeine Gesetze	64
Wärme-Farbe oder Wärme-Art. — Ausstrahlung oder Emission	69
Geschwindigkeit der strahlenden Wärme	74
Erwärmung durch Strahlen oder Absorption	76
Reflexion der strahlenden Wärme	80
Die Durchstrahlbarkeit oder Diathermanität	83
Sonnenwärme und Sonnenlicht	91
Brechung, Doppelbrechung, Beugung, Interferenz und Polarisation der Wärmestrahlen	98

	Seite.
Zweite Grundanschauung.	
IV. Die Wärme ist eine Bewegung	100
1. Die strahlende Wärme	100
Licht und strahlende Wärme sind identisch	100
Begriffe auf dem Grund der Identität	105
Emission und Absorption der Wärmestrahlen	109
Die Diathermanität	114
2. Die Körperwärme	120
Der Wärme-Aether	120
Ampère's dreifache Theilung des Stoffes	121
Wiener's dreifach wirkende Atome	122
Redtenbacher's schwingende Aetherhüllen	127
3. Die mechanische Wärmetheorie	134
Entstehung	134
Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie	139
Erfolge der mechanischen Wärmetheorie	147
Das Wesen der Wärme im Sinne der mechanischen Wärmetheorie	148
Krönig's Theorie der Gase	149
Clausius über die Art der Bewegung, die wir Wärme nennen	151

DAS WESEN DER WÄRME.

Einleitung.

§. 1. Die Physik steht grossentheils noch auf dem Boden der Induction, d. h. sie sucht die Gesetze der Erscheinungen rückwärts aus den Erscheinungen selbst zu erschliessen. In einzelnen Zweigen derselben ist dagegen mit Glück der Weg der Deduction d. h. der Ableitung der Gesetze und Erscheinungen aus einem oder wenigen Grundbegriffen eingeschlagen worden. So werden die reichen Resultate der Mechanik, die seitdem zu einer eigenen mächtigen Wissenschaft herangereift ist, gewonnen aus den Grundeigenschaften des Stoffes: der Trägheit desselben und der daraus entspriessenden Unabhängigkeit der Kräftewirkungen. So hat man für den Schall die Grundannahme aufgestellt, dass er aus den Schwingungen der Theilchen wägbarer Körper bestehe. Aus dieser Annahme lassen sich weitaus die meisten Schallerscheinungen auf einfache Weise erklären, wodurch die Hypothese einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, der an Gewissheit streift, gewinnt. Sind auch manche Erscheinungen, wie die Erregung der Schallempfindung in der Seele, das Geheimniss der Melodie u. s. w. noch unerklärt, so kommt dies theils von ihrer irrationalen Natur, theils ist man ihnen, wie z. B. der Verschiedenheit des Klangs, der Zerlegung einer Tonmasse durch das Ohr in der neuesten Zeit auf die Spur gekommen¹. Auch die Lehre vom Lichte ist in unserem Jahrhundert durch geistvolle Arbeiten auf die Stufe der Deduction

1 *Helmholtz*, die Lehre von den Tonempfindungen.

gehoben worden. Aus der Hypothese, dass das Licht aus Schwingungen der Theilchen eines unwägbaren Körpers bestehe, was übrigens auch seitdem indirect bewiesen worden ist,¹ hat man alle bekannten, ja sogar noch unbekannte und später bestätigte Lichterscheinungen abgeleitet und dadurch nicht allein die Optik zu einer vollendeten Wissenschaft gemacht, sondern auch jene Hypothese zu einem so hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erhoben, dass kein Physiker mehr an der Gewissheit zweifelt.

Die Art nun, wie aus einer physikalischen Grundannahme die Erklärung der betreffenden Erscheinungen abgeleitet wird, ist nicht willkürlich; denn mit Wortkünsten lässt sich Alles beweisen und erklären und lassen sich die unerklärlichsten Erklärungen ableiten, wie es leider von den grossen Naturphilosophen unseres Jahrhunderts und unserer Nation geschah; von denen einer z. B. folgende Erklärung vom Lichte gab: Das Licht ist die mit sich identische Selbstischkeit der gestalteten Körperlichkeit.² Desshalb gewinnen nur solche Ableitungen Bürgerrecht in der Naturforschung, die auf dem allerdings oft schwierig zu bebauenden, aber nie täuschenden Felde der Mathematik gewonnen werden. Die Hypothese sowohl, als auch die Bedingungen einer Erscheinung müssen mittelst der Principien der Mechanik in mathematische Form gegossen, durch Gleichungen ausgedrückt werden; diese werden sodann mit einander verbunden, die ausgesuchten Operationen der höheren Mathematik darauf angewandt und so ein Grössenresultat gewonnen, das die verlangte Erklärung enthält oft zur freudigsten Ueberraschung des Lesers. Solche Methoden wurden z. B. von Cauchy angewendet zur Erklärung der Lichterscheinungen.³ Eine zweite Methode, einfacher und oft eben so scharf, ist die geometrische: man sucht mit Hilfe der analytischen Geometrie die Bedingungen einer Erscheinung in eine räumliche Form zu bringen, so erhält man umgekehrt aus den Eigenschaften dieses räumlichen Gebildes oft überraschende Aufschlüsse über die fragliche Erscheinung. Sind auch diese Methoden allein die unwidersprechlich wissenschaftlichen, so entbehren sie dagegen des allgemeinen Verständnisses, das man

1 *Lamé*, l'élasticité des corps solides. 1852.

2 *Hegel's* Naturphilosophie, S. 277.

3 *Cauchy*, mémoire sur la dispersion de la lumière.

ja gerade in unserer Zeit für die Naturwissenschaft anstrebt. Es muss daher doch wieder zur verworfenen Art der Erklärung mit Worten geschritten werden, ohne jedoch je den Boden mathematischer Schlussfolgerung mit steter Begleitung des Experimentes zu verlassen. Dies geschieht in allen allgemein verständlich gehaltenen Lehrbüchern der Physik für den mechanischen Theil, den Schall und das Licht. Für die Wärme, die Electricität und den Magnetismus aber gibt es zwar Hypothesen in Fülle, allein keine hat allgemeine Anerkennung gefunden, weil noch aus keiner auf mathematischem Wege die Erscheinungen erklärt werden konnten. Nur die Lehre von der Wärme hat im letzten Jahrzehnt so feine Bearbeitungen gefunden, dass die allgemeine Aufmerksamkeit der Naturforscher auf dieselbe gelenkt wurde; eine der Anschauungen über das Wesen der Wärme, die mechanische Wärmetheorie, hat selbst schon Verwendung auf die Lehre von den Dampfmaschinen, calorischen und Gas-Maschinen erhalten. —

Aus diesen Gründen erscheint es wohl gerechtfertigt, die wichtigsten Hypothesen über die Natur der Wärme und ihre Erklärungsweisen der Wärmeerscheinungen allgemein fasslich darzustellen und zu beurtheilen.

I.

Die innere Bildung des Stoffes.

§. 2. Wärme ist für uns nur an und mit dem Stoff wahrnehmbar, womit aber nicht behauptet sein soll, dass im sogenannten leeren Raume keine Wärme sei. Auch knüpfen sich alle Ansichten über die Natur der Wärme an diejenigen über das innere Wesen des Stoffes an; daher ist es nöthig, die heutige Anschauung der Naturforscher über das, was der Stoff eigentlich sei, auseinander zu setzen. Ich sage ausdrücklich der Naturforscher, weil die speculativen Philosophen mit den ersteren in dieser Beziehung durchaus nicht übereinstimmen und meist die gerade entgegengesetzte Anschauung vertheidigen, ja sogar die Ansicht der Physiker als eine „ungereimte Fiction“ verspotten.¹

Die Atomenlehre, wie wohl diese Anschauung genannt werden kann, ist zwar schon sehr alt, in ihrer jetzigen Umformung und Ausbildung aber zuerst von Dalton² ausgesprochen worden. Nach ihm ist der Stoff nicht bis ins Unendliche theilbar, sondern die Theilbarkeit desselben hört, wenn man zu gewissen ausserordentlich kleinen Theilchen gelangt wäre, endlich auf, so dass diese auch

1 *H. J. Fichte*, die neuere Atomlehre. Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik, Bd. 24. S. 24.

2 *Dalton*, a new system of chemical philosophy, Manchester 1808.

durch die feinsten und kräftigsten Instrumente nicht in kleinere Stücke zerlegt werden könnten. Allerdings ist für unsere menschlichen Verrichtungen und Werkzeuge die Theilbarkeit schon viel früher zu Ende, als die untheilbaren Theilchen erreicht sind; wir würden aber die ausserordentlich kleinen Körperchen, die durch Pulverisiren, Auflösen u. s. w. erhalten werden, noch weiter zerlegen können, wenn dazu passende Operationen in unserer Macht ständen, und würden dann endlich die untheilbaren Urtheilchen, Atome genannt, erreichen. Der Mensch kann sich jedoch nicht der Hoffnung hingeben, dass es ihm gelingen werde, diese Körperchen von unfassbarer Kleinheit jemals wahrzunehmen. Denken wir an die ausserordentliche Feinheit der Riechstoffe, von welchen ein unwägbares Quantum hinreicht, mit seinen Dufttheilchen die Atmosphäre oft meilenweit zu erfüllen, erinnern wir uns, dass manche Infusorien, von denen Tausende in einem für das blosse Auge ganz klaren Wassertropfen leben, mit feinen Flimmerhaaren bedeckt sind, die selbst bei mehrhundertfacher Vergrösserung nur schwach sichtbar erscheinen, bedenken wir, wie verwickelt die Bildung der Haare ist und dass das kleinste Haartheilchen, wie das feinste Dufttheilchen als organischer Stoff nach den Lehren der Chemie aus zahlreichen Atomen mehrerer Elemente zusammengesetzt ist, so hat man wenigstens annähernd einen Begriff, wenn auch nicht eine Vorstellung von der ausserordentlichen Kleinheit der Atome.

§. 3. Aus diesen Gründen lässt sich natürlich nichts Bestimmtes über Gestalt, Grösse und Gewicht der Atome sagen; Einige halten sie für kugelförmig, Andere für polyedrisch. Sicher aber ist, dass die Atome eines und desselben Stoffes in allen Beziehungen vollkommen einander gleich sind, während die verschiedenen Körper in allen drei Eigenschaften verschieden sein können. Durch gewisse Thatsachen der Chemie ist man dahin gelangt, für die Atome der 65 Elemente, wenn auch nicht die Gewichte selbst, so doch die Zahlen zu bestimmen, welche ausdrücken, wievielmals grösser die Gewichte derselben sind, als das Gewicht des leichtesten von allen, des Wasserstoff-Atoms; dadurch ist man auch zu Folgerungen über die Grössenverhältnisse der Atome vorangeschritten, während man aus der Krystallform Schlüsse auf die Gestalt der kleinsten Theilchen zu ziehen begonnen hat.

§. 4. Diese Atome der Chemie nun, welche bestimmtes Gewicht,

bestimmte Grösse und Gestalt haben müssen, werden Körperatome genannt, weil sie die Körper bilden und sich nur in Körpern finden. Sie besitzen die Fähigkeit, auf andere Körperatome so zu wirken, dass zwei unabhängige Atome sich einander nähern. Man nennt diese Fähigkeit Anziehung und erklärt demnach jedes Körperatom als Sitz einer Anziehungskraft. Zwar gibt es Naturforscher, welche diese Ausdrucksweise verwerfen, weil wir von dem Dasein dieser Kraft nichts bemerken können, wenn wir nur eine Masse vor uns haben, sondern erst dann Bewegung erblicken, wenn zwei Massen einander gegenüber stehen; es vermeiden deshalb jene Forscher den Ausdruck, dass eine Masse Kraft in sich trage und erklären der Thatsache gemäss: kommen zwei unabhängige Massen einander nahe, so bewegen sie sich zu einander; die Ursache dieser Wirkung nennen wir Kraft.¹ Wollten sie hiermit die Stoffatome nicht als Träger einer uns allerdings in ihrem Wesen unbekannten Kraft anerkennen, so müssten wir fragen: Kann denn diese Ursache in der einen Masse verschwinden und wieder auftauchen, wenn die andere Masse verschwindet und wiedererscheint; und wollte man dies auch annehmen, würde man damit nicht der anderen, also auch jeder Masse die noch viel geheimnissvollere Fähigkeit zuschreiben, in der ersten Masse Kraft erwecken und auch wieder auslöschen zu können? Weiter wissen wir gewiss, dass eine grössere Masse, d. i. eine grössere Anzahl von Atomen stärker angezogen wird, als eine geringere. Von dem anziehenden Körper nämlich ergiessen sich die Strahlen der Anziehung nach allen Richtungen; eine grössere Atomenzahl wird demnach auch von einer grösseren Strahlenmenge getroffen, also im Verhältniss ihrer grösseren Zahl stärker angezogen. So zieht z. B. ein Felsen die Erde sehr stark an, so stark, als die Erde ihn anzieht; ein kleiner Stein aber wird von dem Felsen nur eine sehr kleine Anziehung erfahren, die seiner eigenen gegen den Felsen entspricht. Jene Forscher nun, die in der Besorgniss, dem Stoffe irgend eine unerklärliche, geheimnissvolle Kraft beizulegen, sich rein auf den Ausdruck des Thatbestandes beschränken wollen, übersehen dabei, dass sie dem angezogenen Körper die noch viel räthselhaftere Eigenschaft zuschreiben, in dem anziehenden Körper bald eine grosse, bald eine kleine Kraft hervorzurufen,

¹ *Mayer*, das mechanische Aequivalent der Wärme, S. 37.

je nachdem der erstere selber gross oder klein ist. Wir bleiben demnach bei der gebräuchlichen einfachen Anschauung: jedes Körperatom ist mit anziehender Kraft begabt, die sich von dem Atom aus nach allen nur möglichen Richtungen strahlenartig ausbreitet. Wenn viele Atome in einer Reihe liegen, so übt diese Reihe in ihrer Richtung eine der Zahl entsprechende grössere Anziehung aus; jeder Körper muss deshalb, da er in jeder Richtung aus Reihen unzähliger Atome besteht, auch nach allen Richtungen eine merklich grosse Anziehung entfalten, sollte auch die Anziehung eines einzelnen Atoms noch so klein sein.

§. 5. Wie gross aber dieselbe ist und nach welchem Gesetz sie wirkt, darüber gibt es keine Forschungserfolge, die allgemeine Annahme gefunden haben. Wir wissen nur aus der Bewegung der Weltkörper und dem freien Fall auf der Erde, sowie aus den Versuchen von Maskelyne und Hutton mit einem dem Berge Shehallien gegenüber gehängten Pendel und den Versuchen Cavendish's mit 2 an Coconfäden aufgehängten Metallkugeln, wie aus vielen andern physikalischen Erscheinungen, dass die Anziehung zwischen den Körpern wirklich besteht, wenn sie auch nicht stark genug ist, um die Körper auf der Erde von ihrer Stelle hinweg zu einander zu bewegen, also die Hindernisse der Bewegung zu überwinden; wir wissen weiter, dass die Anziehung der Erde so gross ist, um einem nicht unterstützten Körper in ihrer Nähe in jeder Secunde eine Geschwindigkeit von 10 Meter zu ertheilen, dass die der Sonne 28 mal grösser und die des Mondes 5 mal kleiner ist; wir kennen auch das Gesetz, nach welchem die Anziehung in all diesen Fällen geschieht, nämlich im geraden Verhältniss der Massen und im umgekehrten Verhältniss der Quadrate der Entfernungen; allein über die Grösse der Anziehung eines Atoms und das Gesetz ihrer Wirkung wissen wir Nichts. Dieser Mangel legt auch unserer Untersuchung an manchen Stellen Schranken an und wir sind sogar genöthigt, über das Gesetz der Anziehung wenigstens eine hypothetische Entscheidung zu treffen. Einige glauben, die Anziehungskräfte der Atome verhielten sich umgekehrt wie die 4ten Potenzen der Entfernungen, (Wertheim rechnet sogar die 14. Potenz heraus), ich glaube aber, man kann mit Wiener¹

¹ Wiener, Grundzüge der Weltordnung, S. 31.

folgern, dass das Gravitationsgesetz auch zwischen den Atomen gelten muss, wenn und weil es zwischen den Körpern gilt. Man wendet zwar dagegen ein: in einiger Entfernung ist die Anziehungskraft noch gar nicht merklich, wenn sich aber zwei eben geschliffene Platten berühren, so haften sie mit grosser Kraft aneinander, eben so wie die Theilchen fester Körper mit einer so grossen Kraft aneinander hängen, dass die Anziehung nach dem Quadrat der Entfernung nicht ausreicht, um das starke Wachsthum zu erklären. Allein, nehmen wir einmal an, die Anziehung der Platten sei in einer Entfernung von 1''' so gross, wie der Zug, den ein Loth auf einen Faden, an dem es hängt, ausübt, so ist sie in einer Entfernung von $\frac{1}{1000}$ ''' schon gleich Million Lothen, also mehr als 300 Centner. Erklärt dies nicht hinreichend die rasche Zunahme? Wollte man in dem quadratischen Verhältnisse weiter folgern, so würde man sogar die Anziehungskraft zweier Atome für unmittelbare Berührung, wenn diese möglich wäre, unendlich gross finden, wodurch man auch ein Urtheil über die Grösse der atomistischen Anziehung überhaupt erhielte.

§. 5. Die eben geschilderten Körperatome, welche die Körperwelt bilden und im sogenannten leeren Raume sich nicht befinden, sind aber nicht allein im Weltall vorhanden: es gibt ausser ihnen noch Aether-Atome. Diese unterscheiden sich von jenen vorzüglich dadurch, dass sie abstossende Kraft enthalten, die von jedem Aetheratom strahlenartig nach allen Richtungen wirkt, woraus sich denn sogleich ergibt, dass die Aetheratome den höchsten Grad der Elasticität, ja absolute Elasticität selbst besitzen müssen. Sie unterscheiden sich ferner von den Körperatomen durch noch viel weiter getriebene Kleinheit, können daher als Stoffpunkte angesehen werden und stehen zu den Körper-Atomen ungefähr in dem Verhältnisse, wie die Luft-Theilchen zur Erdkugel. Sie müssen sich auch, da die Anziehung der Körperatome die Abstossung der Aetheratome übertrifft, in ähnlicher Weise um die Körperatome gruppiren, wie die Luft um die Erde, so dass jedes Körperatom eine Aethersphäre besitzt, wie die Erde eine Atmosphäre; ähnlich wie in dieser, muss der Aether in der Nähe des Körperatoms am dichtesten sein und nach aussen immer lockerer und lichter werden, bis entweder Gleichgewicht zwischen den Anziehungs- und Abstossungskräften dieser Dynamide, wie Redtenbacher ein Körperatom mit seiner Aether-

hülle nennt,¹ eintritt, oder bis noch andere Dynamiden ins Spiel treten, deren Kräfte mit denen der ersten einen Gleichgewichtszustand bilden. Wir ersehen daraus: kein Körper kann ohne Aether bestehen; aber die anziehenden Körperatome können doch nicht allen vorhandenen Aether zu sich ziehen, da die Abstossung dieser vielen Aetheratome sehr bald jener Anziehung gleich wird; die übrigen Aetheratome müssen desswegen aus der Körperwelt hinaus in den leeren Raum treten. Jeder leere Raum und der ganze Himmelsraum müssen daher mit Aether erfüllt sein; aber in einem von uns erzeugten beschränkten leeren Raum ist so viel Aether, als der Anziehung der benachbarten Körper und der Menge des umliegenden freien Aethers entspricht, ebenso ist um die Weltkörper herum wegen deren Anziehungskraft der Aether dichter gruppirt, im leeren Weltraum dagegen kann der Aether nur nach Massgabe der überhaupt vorhandenen Aethermasse dünner vertheilt sein, als in und um den Körpern.

§. 6. Auf die Vorstellung von abstossenden Aetheratomen führte die einfache Betrachtung, dass aller Stoff in eine einzige Masse zusammenrinnen müsste, wären nur anziehende Körpertheilchen vorhanden. Ebenso einfach lässt sich die Unmöglichkeit eines absolut leeren Raumes im Weltall begründen: entweder sind Licht und Wärme, die von allen Fixsternen oder Sonnen ausgehen, Stoff oder Bewegung; ein Drittes ist nicht denkbar. Sind sie Stoff, so muss dieser Stoff, der ja immer den Weltkörpern entfliesst und mit einer Geschwindigkeit von 42000 Meilen in einer Sekunde den Weltraum durchheilt, sehr bald denselben ausfüllen, da er nicht verschwinden kann. Sind aber Licht und Wärme Bewegung, so muss doch Etwas da sein, was sich bewegt, und dieses Etwas muss den Weltraum erfüllen, weil Licht und Wärme von den Sonnen aus überall hingehen. Solches ist aber nur durch einen Stoff möglich von der Beschaffenheit des Aethers, dessen Theilchen einander abstossen.

Es ist auch eine Art von directem Beweis für das Dasein eines widerstehenden Mittels im Weltraum geliefert worden durch den Astronomen Encke in Berlin mit Hilfe des nach ihm benannten Kometen von kurzer Umlaufzeit. Bekanntlich kann aus drei-

1 *Redtenbacher*, das Dynamiden-System. Mannheim 1857.

maliger Beobachtung eines Kometen dessen Bahn in allen ihren Elementen berechnet, also auch die Zeit gefunden werden, welche der Komet braucht, um einmal seinen Lauf um die Sonne zu vollenden. So wurde auch die Umlaufzeit des Encke'schen Kometen berechnet; aber merkwürdigerweise kommt derselbe immer etwas früher wieder, als man nach der Berechnung erwarten sollte. Dies kann nur dadurch hervorgebracht werden, dass von den zwei Kräften, welche die Bahn eines Weltkörpers erzeugen, der Anziehung der Sonne und der Schwungkraft des Kometen, die letztere verringert wird; denn hierdurch wird die erstere verhältnissmässig grösser, zieht den Kometen mehr in die Nähe der Sonne, verkleinert dadurch seine Bahn und seine Umlaufzeit. Aber jene Verminderung der Schwungkraft kann wiederum nur der Erfolg eines stetigen Widerstandes sein, den der Komet immer erleidet, sonach eines Widerstandes, den ein feiner Stoff, welchen er durchschneiden muss, auf ihn ausübt, ähnlich, wie die Luft die Fallkraft einer Feder vermindert. Zur Erklärung dieser seltsamen Erscheinung reicht nur unser Aether aus. Bei den Planeten wird man diese Wahrnehmung nicht machen, denn diese nehmen einen verhältnissmässig kleinen Raum ein bei einer sehr grossen Masse, während die Kometen Millionen von Meilen im Himmelsraum ausfüllen und aus einem Stoffe von ausserordentlich geringer Masse und so dünner, lockerer Beschaffenheit bestehen, wie wir auf Erden keinen Vergleich dafür haben; ein sehr feiner Stoff aber kann auf einen lockeren Körper von bedeutender Grösse bald einen merklichen Widerstand ausüben, wogegen ein kleiner Körper von grosser Masse erst nach sehr langer Zeit eine kleine Einbusse an seiner Schwungkraft erleiden wird, ähnlich wie eine lockere Feder in der Luft fast hängen bleibt, indess eine Bleikugel mit fast ungeschwächter Schnelligkeit durch dieselbe herniederstürzt. So müssen denn auch die lockeren, feinen und grossen Kometen von dem Widerstand des Aethers ganz anders berührt werden, als die kleinen, dichten Planetenkugeln.

Man kann auch eine Art indirecten Beweises für das Dasein des weltraumerfüllenden Aethers darin finden, dass alle Lichterscheinungen sich auf höchst einfache Weise durch die Annahme erklären lassen, das Licht bestehe aus hin- und hergehenden Bewegungen oder Schwingungen der Aetheratome, und zwar aus solchen, deren Richtungen auf dem Lichtstrahl senkrecht stehen.

Fassen wir diese Erörterungen zusammen, so ergeben sich folgende von den meisten Naturforschern, mit grösseren oder geringeren Abweichungen in Nebendingen, angenommenen Hauptsätze über das Wesen des Stoffes:

- 1) Der Stoff besteht aus Körperatomen und Aetheratomen.
- 2) Die Körperatome wirken nach allen Richtungen anziehend und zwar im umgekehrten Verhältniss der Quadrate der Entfernungen.
- 3) Die Aetheratome wirken nach allen Richtungen abstossend und zwar im umgekehrten Verhältniss der Entfernungen.
- 4) Der Weltraum ist mit Aether von geringer Dichte ausgefüllt.

In neuester Zeit ist durch Wiener in seinem interessanten Werke die Ansicht ausgesprochen worden: Körperatome und Aetheratome stossen einander ab, während die ersteren einander anziehen und die letzteren einander abstossen.¹ Man kommt aber hierbei zu der Folgerung, dass die Erscheinung eines Körperatoms bei einem andern in diesem die Anziehung erwecke, dagegen die Erscheinung eines Aetheratoms in demselben Körperatom Abstossung erzeugen könne, dass also die Atome die Kräfte erst in einander zur Entstehung bringen. Demnach wären diese Kräfte in den isolirten Atomen nicht vorhanden, die Atome hätten aber selber die Fähigkeit, in andern Atomen Kräfte aus Nichts hervorzurufen. Es wird dadurch die Grundeigenschaft der Atome so räthselhaft, dass auch alle daraus gewonnenen Folgerungen dunkel bleiben müssen. Wir können daher dieser neuen Anschauung nicht beitreten.

§. 7. Die innere Bildung des Stoffes, wie sie oben vorgetragen wurde, ist nun eigentlich nur den 65 Elementen eigen, d. h. den Stoffen, die man bis heute nicht zerlegen konnte und aus denen alle anderen Stoffe zusammengesetzt sind. Nur bei ihnen liegt in jeder Aetherhülle ein Atom und zwar bei einem ungemengten Körper in allen Aetherhüllen ganz gleiche Atome. Bei gemengten Körpern dagegen liegt in der einen Aetherhülle ein Atom des einen, und in der andern ein Atom des andern Elementes. Bei den zusammen-

¹ Wiener, Grundzüge der Weltordnung, S. 40.

gesetzten Körpern aber, die weitaus die grösste Masse der bekannten Erdrinde bilden, oder bei den chemischen Verbindungen liegen in einer Aetherhülle mehrere Atome verschiedener Körper, z. B. beim Wasser ein Atom Wasserstoff und ein Atom Sauerstoff. In der unorganischen Welt sind es nur wenige, in der organischen dagegen viele Atome der Elemente, die in einer Aetherhülle ein kleinstes Theilchen des zusammengesetzten Körpers bilden, das dann auch wegen seiner Zerlegbarkeit nicht mehr auf den Namen Atom passt und daher Molecül genannt wird. Diese Molecüle können natürlich die verschiedensten Gestalten haben, je nach der Zahl, Gestalt und Lagerung ihrer Atome, in der einen Richtung können mehr Atome in einer Linie liegen, als in der andern; daher können die Molecüle nach einer Richtung viel stärker anziehend wirken, als nach einer andern und dadurch in verschiedenen Richtungen die verschiedenste Dichtigkeit der Aetherhüllen herbeiführen; so kann und muss es Körper geben, bei denen der Aether in verschiedenen Richtungen eine ungleich grosse Elasticität besitzt. Weil bei unorganischen Körpern die Zahl der Atome in einer Aetherhülle nur gering ist, so können auch nur nach wenigen Richtungen Reihen von Atomen liegen, es kann daher nach diesen wenigen Richtungen stärkere Anziehung auftreten, welcher dann die andern Molecüle folgen, so dass Molecül nach Molecül sich in diesen Richtungen aneinander setzt und so regelmässige Gestalten oder Krystalle entstehen. Bei organischen Körpern müssen nach vielen Richtungen Reihen von Atomen liegen, also können in keiner Richtung Anziehungskräfte überwiegend auftreten, folglich auch keine Krystalle entstehen. Krystalle können sich aber bei den unorganischen Stoffen nur dann bilden, wie eben erläutert, wenn die Molecüle zusammen treten können, also nicht durch äussere Umstände in eine gewisse Lage gezwängt werden, wodurch der amorphe oder gestaltlose Zustand entstände. Bilden sich aber an verschiedenen Punkten viele Krystallanfänge, statt dass Molecül nach Molecül zu dem ersten Krystallkeim tritt, so hindern sie sich gegenseitig an der Ausbildung und bilden den krystallinischen Zustand.

§. 8. Andere Stoffverschiedenheiten der Körper hängen zu eng mit den Wärmeverhältnissen zusammen, so dass erst später ihre Erklärung versucht werden kann. Nur ein Unterschied muss noch erwähnt werden, nämlich der chemische Unterschied der Elemente

oder die verschiedenen Grade der chemischen Verwandtschaft. Es ist bekannt, dass die 65 Elemente ganz sonderbare Liebhabereien für, und Abneigungen gegen einander haben; einzelne verbinden sich schon mit explosiver Schnelligkeit, wenn sie zusammengebracht nur vom Tageslicht berührt werden, andere, wie z. B. der Sauerstoff, verbinden sich fast mit allen übrigen und halten den erwählten Gefährten mit grosser Stärke fest, während wieder andere nur durch grosse Gewalt, wie der elektrische Schlag etwa ist, oder durch die ausgesuchtesten chemischen Künste zur Verbindung gebracht werden können und darin nur mit einer Art Widerstreben bleiben, ja sie bei dem geringsten Anlass verlassen u. s. w.

Die Chemiker, denen vor der ungeheuren Fülle von chemischen Erscheinungen nach Redtenbacher der Kopf schwindelt, haben allein an der Bewältigung dieser Thatsachen und der Auffindung neuer, die ihnen bei jedem Schritt aufstossen und die den Fortschritt der Kultur nicht wenig befördern, eine das Leben so erfüllende Aufgabe, dass sie an die Erklärung der Erscheinungen keine Zeit verschwenden können; Anderen aber steht nicht das volle Thatsachenmaterial zur Verfügung, sie können daher auch eine Erklärung nicht mit innerer Sicherheit wagen, um so weniger, da von den mancherlei aufgestellten Theorien die meisten grade durch neue Entdeckungen auf dem Gebiete der organischen Chemie umgeworfen wurden. Man erklärt desswegen die chemischen Erscheinungen immer noch durch die chemische Verwandtschaft, legt aber damit den Atomen der Elemente sowohl, als auch den Molecülen der Verbindungen noch mehr als thierischen Instinct, eine Art Unterscheidungsinn von grösster Feinheit bei. Gewiss wird diese Anschauung fallen; darauf deuten auch die manigfaltigen Forschungserfolge, die man über den Zusammenhang zwischen dem Atomgewicht und der specifischen Wärme, zwischen chemischer Zusammensetzung, Siedepunkt und specifischem Gewicht, kurz über den Zusammenhang chemischer und physikalischer Eigenschaften errungen hat.¹ Gewiss wird einst die Chemie auch auf die zwei geschilderten Grundkräfte (Molecularkräfte) aufgebaut werden. Es wird sich dann zeigen, dass die chemische Verschiedenheit nur liegt in der Verschiedenheit der Gestalt, des Gewichts und der Grösse der Atome. Vielleicht ist die Substitutions-

1 *H. Kopp*, theoretische Chemie, Braunschweig 1863.

theorie der erste Schritt zu dieser Erkenntniss. Diese nimmt nämlich an, auch bei den Elementen lägen in einer Aetherhülle mehrere ganz gleiche Atome und die chemischen Vorgänge beständen nur in einer Ersetzung eines Atoms der Dynamide durch ein anderes ungleiches oder durch eine Atomgruppe und umgekehrt. Ja man neigt sogar zu der Ansicht, der Unterschied der 65 Elemente sei gar kein Stoffunterschied, sondern alle Atome beständen aus verschiedenen Gruppen von innig mit einander verbundenen Wasserstoff-Atomen; darauf deutet der Umstand hin, dass die Gewichte der Elementenatome meist ein Vielfaches sind von dem Gewicht des Wasserstoffatoms; darauf deuten z. B. die merkwürdigen Beobachtungen Plücker's in Bonn über die Veränderungen des electrischen Stickstofflichtes,¹ sowie überhaupt die Thatsache, dass mehrere Elemente, z. B. der Sauerstoff, der Phosphor in verschiedenen Zuständen auftreten können, die sich hinsichtlich der chemischen und physikalischen Eigenschaften von einander unterscheiden; der in einen früher unbekannten besonders erregten Zustand versetzte Sauerstoff wurde Ozon genannt und für die Erklärung der wohlklingende Name: „allotropische Modification“ erfunden.² Clausius hat in neuerer Zeit den Unterschied des gewöhnlichen Sauerstoffs vom Ozon darin zu finden geglaubt, dass beim ersten in jeder Dynamide 2, beim letzten nur 1 Atom Sauerstoff liege.³ Wenn also chemische Unterschiede sich erklären lassen durch die Lagerung der Atome hier im Kleinen, warum sollte es im Grossen nicht möglich sein?

1 Verhandlungen des niederrheinischen Naturforscher-Vereins, Köln. Ztg., Dez. 62. Plücker zeigte auch auf der Naturforscher-Versammlung in Giessen die Veränderung des Spectrums des electrisch leuchtenden Stickstoffs und anderer Gase.

2 Denn eben, wo Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein.

3 Poggendorff's Annalen, Band 103. S. 644.

II.

Geschichtliche Entwicklung der beiden Hauptansichten über die Natur der Wärme.

§. 9. Schon die ältesten griechischen Philosophen¹ sprachen Ansichten über die Entstehung und das Wesen der Wärme aus, aber auch schon bei ihnen tritt, wenn auch verhüllt durch den Schleier der Sprachdunkelheit, eine Zwiespaltigkeit der Anschauungen auf: die Wärme ist auch bei ihnen schon entweder ein Stoff oder eine Wirkung.

Thales aus Milet (570 v. Chr.) glaubte, das Warme sei, wie alles Erscheinende, eine Wirkung des Feuchten, selbst das Feuer der Sonne und der Gestirne entstehe aus dem Wasser.

Anaximenes aus Milet (550 v. Chr.) lehrte, dass das Kalte eine Wirkung der Verdichtung der Luft sei, das Warme dagegen durch Verdünnung derselben entstehe.

Heraklit aus Ephesus (500 v. Chr.) dagegen erklärt, Urgrund aller Dinge könne nur das sein, was im Entstehen vergehe und im Vergehen entstehe; diese wechselseitige Verzehrung der negativen Gegensätze sei aber das Feuer; für ihn ist also das Feuer Stoff und Wirkung gleichzeitig, während Demokrit aus Abdera (460 v. Chr.), der Begründer der atomistischen Philosophie, das Feuer und die Seele aus runden Atomen, also aus Stoff bestehen lässt.

Bei Pythagoras (540 v. Chr.), dem die Zahl der Urgrund aller Dinge ist, gruppirt sich die Einheit zu den fünf regelmässigen

1 Leopold Schmid in Giessen, Vorlesungen über alte Philosophie.
Reis, Wesen der Wärme.

Körpern, welche die fünf Elemente vorstellen. So ist das Tetraeder, der einfachste dieser fünf Körper, das Urbild und die Grundlage des Feuers, welches als eigenes Element, also als unabhängiger Stoff, in der Mitte des Weltalls thront und den 10 um es kreisenden Welten Wärme und Leben verleiht. Bei ihm tritt aber auch schon der Aether als fünftes Element auf, in räthselhafter Weise durch das von 12 regelmässigen Fünfecken umschlossene Dodekaeder dargestellt.

Auch bei den folgenden Philosophen ist das Feuer eines der 4 Elemente, nicht aber in dem mittelalterlich-alchymistischen Sinne, dass Alles aus den 4 Elementen zusammengesetzt sei, sondern als der Urgrund der Licht- und Wärme-Erscheinungen, des Magnetismus und der Electricität, eben so wie Erde als Grundlage alles Festen, Wasser als Element alles Flüssigen und Luft als Urbild alles Gasförmigen dargestellt wurde. Die Wärme ist also Stoff und Wirkung je nach der Art ihres Auftretens. Der Aether aber ist kein Element mehr, wie bei Pythagoras, ist nicht, wie ein solches, schwer oder anziehend, sondern, wie bei uns, ein den Weltraum erfüllender Stoff von grosser Dünne und Feinheit, in ewig kreisender Bewegung, von welcher er den Namen hat (*ἀπὸ τοῦ θεῖν αἰ*)¹ und die er allen Weltkörpern mittheilt, so dass sie auch im Kreise schwingen.² Nach Aristoteles erfüllt er nicht bloss den Weltraum, sondern durchdringt auch alle Körper und verleiht dadurch denselben ihre Lebenswärme. Von unserm in §. 5 geschilderten Aether unterscheidet er sich durch seine feurige Natur, seinen hellen, weitstrahlenden Glanz, den ihm schon Empedokles aus Agrigent (440 v. Chr.) beilegt, weshalb einige seinen Namen von *αἶθειν* (brennen) ableiten.³ So erscheint also schon den ältesten Naturforschern, wie man wohl die griechischen Philosophen nennen kann, die Wärme entweder als Stoff oder als eine Wirkung des Aethers; von unserm modernen Standpunkt aus müssten wir für den letzten Ausdruck Bewegung des Aethers setzen, da wir eine Wirkung ohne Bewegung nicht kennen, ja jede mechanische Wirkung als Stoffbewegung erklären.

§. 10. Auch beim Eintritt in die neuere Wissenschaft begegnet uns sofort bezüglich der Wärme eine Zwiespaltigkeit der An-

1 *Aristoteles*, de coelo. I. 3.

2 *Marbach*, Geschichte der griechischen Philosophie. S. 269.

3 *A. v. Humboldt*, Kosmos, 3. S. 43

sichten. Während Baco von Verulam¹ (1561—1626), dem die Materie als Positives und Thätiges erscheint, die Wärme als eine Wellenbewegung der kleinsten Körpertheile ansieht und so der Vorläufer der mechanischen Wärmetheorie unserer Tage geworden ist, erklärt Cartesius (1596 — 1650) einmal das Feuer für einen Körper ohne Schwere² und das anderemal die Wärme für eine Folge der Bewegung seiner subtilen Materie;³ dem entgegen sieht Newton die Wärme für ein ätherisches Fluidum, mit Abstossung begabt, an, eine Meinung, in der ihm die meisten Gelehrten des vorigen Jahrhunderts, so Chr. Wolff und L. Euler, der sonst Cartesianer war, beistimmen. Uebrigens waren die Anschauungen des vorigen Jahrhunderts über die Wärme bei allen Nationen vielfach getrübt und verwirrt durch den anderthalb Jahrhunderte andauernden phlogistischen Streit, zu dem eigentlich hier in Mainz der Grund gelegt wurde.

Im Jahre 1666 berief der Churfürst Joh. Phil. von Schönborn den Naturforscher Joh. Joachim Becher⁴ (1635 zu Speyer geboren, 1682 in England gestorben) als Leibarzt und Professor der Medicin nach Mainz. Dieser unruhige und phantastische Geist machte hier Forschungen über die chemische Einwirkung der Stoffe aufeinander und gelangte dadurch zu der sonderbaren Meinung, dass alle unterirdischen Körper aus 3 Erden, der verglasbaren, brennbaren und mercurialischen Erde beständen, und dass die Verbrennung Nichts sei, als eine Austreibung, ein Freiwerden der zarten, verbrennlichen Erde (Terra pinguis), die wir uns als einen ätherischen Stoff vorstellen müssen. Stahl (1660—1734), der grösste Chemiker und Mediciner seiner Zeit, folgert aus den Angaben Becher's (Becheriana sunt, quae profero, sagt der bescheidene Stahl), dass in allen verbrennlichen Körpern ein und derselbe Bestandtheil enthalten sei, der ihnen die gemeinschaftliche Verbrennlichkeit ertheile. Er nannte diesen Stoff Phlogiston von *φλογίζειν* (in Brand setzen) und meinte, alle Verbrennung oder Verkalkung sei eine Abscheidung des Phlogistons, dessen Ausfluss in grosser Menge das Feuer bilde. Während wir Kohle, Schwefel, Metalle für Elemente halten und die

1 De forma calidi. Works. London 1778.

2 Leopold Schmid, Vorlesungen über neuere Philosophie.

3 Gehler, Physikalisches Wörterbuch, X. S. 55.

4 Kopp, Geschichte der Chemie, I. S. 177. — Whewell, Geschichte der inductiven Wissenschaften, deutsch bearbeitet von Littrow, III. S. 127.

Verbrennung für eine Verbindung derselben mit Sauerstoff erklären, wodurch Kohlensäure, schweflige Säure, Metallkalke entstehen, behauptete Stahl umgekehrt, die genannten Elemente seien eine Verbindung der Kohlensäure, der schwefligen Säure, der Metallkalke mit Phlogiston, durch dessen Vertreibung jene Elemente entständen, während das freiwerdende Phlogiston selbst die Ursachen der Wärmeerscheinungen bilde. Durch das Ansehen Stahls gewann diese Meinung die Oberhand und fiel erst, als Lavoisier nachgewiesen hatte, dass beim Verbrennen das Entstehende mehr wiege, als der verbrannte Stoff vor der Verbrennung wog. Gren suchte zwar das Phlogiston durch die Eigenschaft der negativen Schwere zu retten, gab dasselbe aber dadurch dem Hohne preis. In die allgemeine Verhöhnung kann ich nun nicht einstimmen; wohl war der Irrthum in chemischer Beziehung ein schwerer und den Fortschritt hemmender; allein dass bei der Verbrennung ein ätherischer, mit abstossenden Kräften begabter Wärmestoff frei werde, wurde sogleich nach dem Falle des Phlogistons von Laplace ausgesprochen¹ und bis heute von den meisten Physikern festgehalten, wenn auch viele durch die schönen Arbeiten auf dem Gebiete der Bewegungstheorie der Wärme wankend gemacht wurden. Anhänger der Anschauung, dass die Wärme eine den übrigen Sinnen entgehende sehr schnelle und feine Bewegung sehr kleiner Theilchen sei, traten auch während der phlogistischen Zeit, besonders aber in unserm Jahrhundert mit gewichtigen Gründen auf. So machte Graf Rumford von 1778 bis 1800 Versuche, aus denen er die Unzulässigkeit der Annahme eines Wärmestoffes folgerte; es waren Versuche über Entstehung der Wärme durch Reibung und über Vereinigung der Wärmestrahlen in dem Brennpunkt eines Hohlspiegels, aus denen für Rumford eine innere Aehnlichkeit der Wärme mit dem Schall hervorzugehen schien. Ihm folgten Davy und Young, während Ampère (1830) schon angibt, dass die Wärme eine Bewegung der Körperatome innerhalb der Molecüle sei. Da es aber nicht gelang, die Wärmeerscheinungen durch eine solche Annahme zu erklären, so traten Berthollet u. A. als Vertheidiger des Wärmestoffs auf.

§. 11. Inzwischen war es gelungen, die Lichterscheinungen als Aetherschwingungen zu erklären. Zu diesem Erfolg hatte beson-

¹ Laplace, Mécanique céleste, T 5. p. 90.

ders beigetragen die Entdeckung der Interferenz, der Doppelbrechung und Polarisation des Lichtes; die Interferenz zeigt die Erscheinung, dass Licht zu Licht gebracht unter Umständen Finsterniss erzeugt, was sich einfach dadurch erklärt, dass entgegengesetzte Aetherschwingungen sich ganz oder theilweise aufheben müssen; die Doppelbrechung ist mit Polarisation verbunden und ergibt, wie diese, Lichtstrahlen, deren Aetherschwingungen einander parallel sind; treffen diese auf eine durchsichtige Glasscheibe parallel zur Oberfläche derselben, so können sie nicht in dieselbe eindringen, weil zwischen den Atomen kein Raum für sie ist: die Glasscheibe muss deshalb auf der anderen Seite dunkel erscheinen. Stehen sie aber senkrecht auf der Scheibe, so können sie zwischen die Atome hineinhacken, wie eine Nadel wohl mit der Spitze, aber nicht mit ihrer Länge in Papier eindringen kann, und die Glasscheibe muss hell erscheinen. Als nun mit dem vortrefflichen Apparate Melloni's nicht nur Brechung, Interferenz, Doppelbrechung und Polarisation der Wärme nachgewiesen, sondern sogar Modificationen der Wärme aufgefunden wurden, die den Farben des Lichts entsprechen, da schien Vielen eine innere Aehnlichkeit, ja sogar eine volle Uebereinstimmung, eine Identität von Wärme und Licht bewiesen. Da aber diese Erscheinungen beim Licht entweder sehr einfach oder gar nur durch die Schwingungstheorie erklärt werden können, so glaubte man dasselbe auch von den entsprechenden Wärmeerscheinungen behaupten zu dürfen und hoffte, bald die Wärme ebenfalls als einen Bewegungszustand des Aethers oder der Körpertheilchen erklärt zu sehen. Doch sind seitdem mehr als 20 Jahre vergangen, und, so geistvoll die in diesen Jahren erschienenen Arbeiten zur festeren Begründung und weiteren Anbauung der Bewegungstheorie der Wärme auch sind, so wagte es doch noch kein Lehrbuch, die Wärmelehre der Optik ähnlich umzugestalten: der Wärmestoff war und ist das Mittel der Erklärung und nur in dürftigen Anhängen wird auf die neuen Anschauungen hingewiesen. Diese unverwüstliche Dauer der Stoffanschauung, trotz der allgemein ansteckenden Begeisterung für die Bewegung, die so verführerisch wirkte, dass man sogar versucht hat, die organischen Erscheinungen, ja selbst die geistige Thätigkeit des Menschen als Bewegungszustände¹ darzustellen, muss doch wohl

1 Wiener, Grundzüge der Weltordnung.

einen tieferen Grund haben, als die blosse Einfachheit, obwohl dieser für einen Lehrer an Mittelschulen schon gewichtig genug ist, und diesen tieferen Grund finden wir eben in einer grossen Annäherung an die Wahrheit; ihn unterstützt die Thatsache, dass die Bekenner der Bewegungslehre sich in der grössten Uneinigkeit befinden, nicht nur über die Art der Ableitung der Erscheinungen aus den Bewegungen, sondern auch über die Art der Bewegung selbst, ja sogar über den Stoff, dessen Bewegung die Wärme sein soll. Bei dem Einen sind es die Körper-Atome, bei dem Andern die ganzen Molecüle, bei dem Dritten die Aetheratome, bei einem Vierten die Aetherhüllen, bei einem Fünften Alles zusammen und wieder bei Andern die Theile eines eigenen Wärmeäthers, deren Bewegung die Wärme ausmacht. Bei den glänzenden Erfolgen aber, welche die Schwingungslehre errang, bei den tiefen und feinen mathematischen Behandlungsweisen, welche dieselbe zulässt, ist ihre grosse Geltung um so mehr zu begreifen, als die Stoffanschauung nicht nur die neu entdeckten Wärmeerscheinungen unerklärt liess, sondern sich auch sonst Blößen genug gab. Sie wurde auch von ihren Anhängern nie als volle und unumstössliche Wahrheit verkündet, sondern nur als ein Nothbehelf, als einigende Grundlage für die Zusammenfassung der Erscheinungen, bis die Wahrheit gefunden würde. Sie erhielt sogar einen Anstrich von Lächerlichkeit, wenn man diesen eigenen Wärmestoff den andern drei noch in der Physik herumspuckenden, gespensterartigen, unwägbaren Fluiden, dem Lichtstoff, der magnetischen und electrischen Flüssigkeit zur Seite stellte, also 4 Imponderabilien annahm, die unabhängig und doch mit einander die Körperwelt durchflossen, von denen jedes seine eigenen, fast persönlichen Sonderbarkeiten hatte, welche die des andern ausschlossen, während sie doch jeden Augenblick in der innigsten Verbindung und Wechselwirkung standen, ja sich gegenseitig erzeugten. Diesem Unfug gegenüber muss freilich auch ein eigener Wärmestoff, so bequem er ist, fallen. Ausserdem liegt ja das Wesen eines Stoffes in seiner Kraft; andere Stoffkräfte aber, als Anziehung und Abstossung sind nicht denkbar; sonach kann es auch nur zwei verschiedene Arten von Stoff geben: Körperstoff und Aether, ein eigener Wärmestoff kann nicht zugelassen werden.

Erste Grundanschauung.

III.

Die Wärme ist ein Stoff.

§. 12. Soll eine dem Stand der Wissenschaft entsprechende Stoffanschauung für die Wärme aufrecht erhalten werden, so müssen wir nach dem Vorausgehenden zunächst von einem eigenen Wärmestoff ganz absehen und dann nur Aether und Körperstoff als vorhanden annehmen. Da nun die Wärme nach den sinnreichen Versuchen von Rumford¹ kein nachweisbares Gewicht hat, wie es selbst der feinste körperliche Stoff besitzt, so können wir als Grundlage einer neuen Stoffanschauung der Wärme nur den Satz aussprechen: „Wärme ist Aether.“² Dieser Satz enthält eine reine Vermuthung, eine bloße Möglichkeit, die zu einer der Gewissheit nahen Wahrscheinlichkeit erhoben wird, wenn es gelingt, sämtliche Wärmeerscheinungen auf mathematischem Wege aus ihm abzuleiten; hier soll dies einstweilen allgemein verständlich auf dem Wege mathematisch-strenger Folgerung versucht werden. Denn, was wahr und richtig ist, muss sich nicht bloss durch Verbindung mathematischer

¹ Philosophical Transactions. T. 89. p. 179.

² In dieser allgemeinen Fassung ist der Satz neu; in Einzelheiten gebrauchten schon Manche, z. B. *Eisenlohr*, Wärme und Aether als gleichgeltend.

Formeln, sondern, wie es bei der Lehre vom Licht der Fall ist, auch durch Worte darthun lassen. Unsere Vermuthung fällt aber, wenn ihr eine einzige Erscheinung widerspricht. Zum Zwecke dieser Ableitung müssen wir zunächst die Wirkung der Anziehung und Abstossung der Atome aufeinander ins Auge fassen.

§. 13. Die Anziehung, die durch ein Körperatom auf irgend eine Stelle der Aetherhülle ausgeübt wird, muss der dort herrschenden Abstossung gleichkommen, damit Gleichgewicht stattfinde. Diese Abstossung aber setzt sich zusammen aus derjenigen der Aetheratome an dieser Stelle und der hierher sich fortpflanzenden Abstossung der andern Aetheratome, weshalb die auf ein Körperatom ausgeübte Abstossung aus drei Theilen besteht: aus der Abstossung der nächsten Aether-Schichte, aus der Abstossung der folgenden Schichten gegen das Körperatom und aus der Abstossung dieser folgenden Schichten gegen einander, die sich auf die erste fortpflanzt. Sind nun die Körperatome einander so nahe, dass ihre Anziehung nicht nahe = Null, so ist auch die Gesamtabstossung auf sie eine ebenso grosse messbare Grösse. Versucht man nun durch äussere Gewalt die Körper-Atome einander zu nähern, so wird zwar die Anziehung in ihnen grösser; allein die Abstossung zwischen ihnen wird stärker wachsen müssen, weil dieselbe aus 3 Factoren zusammengesetzt ist, die vervielfachend auf einander einwirken; es muss daher die Wirkung der äusseren Kraft bald an der Steigerung der Abstossung eine Grenze finden und beim Aufhören derselben die vergrösserte Abstossung den vorigen Zustand wieder herstellen. Will man umgekehrt die Körperatome von einander entfernen, so wirkt nicht bloss die jenseits derselben auf obige Weise vergrösserte, sondern auch die zwischen ihnen in verstärktem Masse verkleinerte Abstossung dahin, die Atome wieder zu nähern. Es findet also in diesem Fall ein stabiles Gleichgewicht zwischen den Molecularkräften statt, was dem Zustand der festen Körper und der vollkommenen Elasticität derselben innerhalb gewisser Grenzen entspricht.

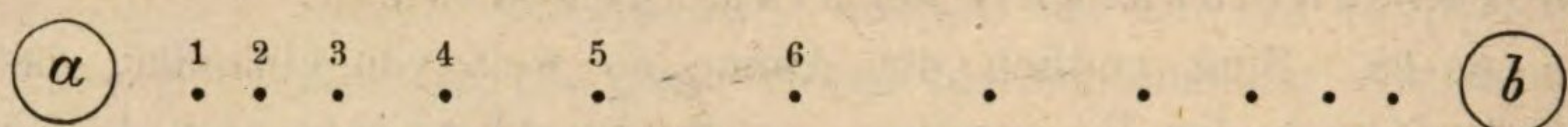
§. 14. Sind die Körperatome so weit von einander entfernt, dass ihre Anziehung nahe = Null, so kann dieselbe durch geringe Veränderung auch nicht stark vergrössert werden. Dieser geringen Grösse gegenüber wird der Druck der Luft von Bedeutung, so dass dann ein Gleichgewicht zwischen der Anziehung der Körperatome,

und dem Luftdruck einerseits und der Abstossung des Aethers anderseits stattfindet. Nähert man die Körperatome, so wird von der zusammenhaltenden Kraft nur ein Theil, die Anziehung, um ein Geringes vergrössert, da der Luftdruck unverändert bleibt, während alle Factoren der Abstossung wegen der grösseren Zahl der Aetheratome sich vermehren; also muss die Näherung sehr bald eine Grenze finden. Will man aber die Theile entfernen, so wirkt der sich überall eindringende Luftdruck sich selbst entgegen und es ist nur die geringe Anziehung zu überwinden. Daraus ergibt sich die unbedeutende Zusammendrückbarkeit gegenüber der leichten Verschiebbarkeit der flüssigen Körper.

§. 15. Sind endlich die Atome so weit von einander, dass die Anziehung der Körperatome gegen die Abstossung der Aetheratome verschwindet, also eine Anziehung der Theilchen gegen einander nicht mehr existirt, so muss eine kleine Menge solchen Stoffes sich in jeden leeren Raum auszubreiten streben. Es müssen deshalb auch die Aetheratome weit auseinander liegen, so dass die Abstossung derselben gegeneinander, die doch hier vorwiegend in Betracht kommt, nicht gross ist. Es wird daher einem äussern Druck nur geringer Widerstand geleistet und ein stärkerer Druck, als dieser Widerstand, wird denselben überwinden, also den Stoff zusammenpressen. So erklärt sich die Ausdehnbarkeit und starke Zusammendrückbarkeit der Gasarten. Wird das Gas auf die Hälfte seines Raumes zusammengepresst, so kommen alle Aetheratome in doppelt so grosse Nähe; nach unserm Abstossungsgesetz wird dann auch die Abstossung jedes Aetheratoms doppelt so gross, also auch die Spannkraft verdoppelt, welche Folgerung einfach das Mariotte'sche Gesetz erklärt. Werden durch äusseren Druck die Atome einander so weit genähert, dass die Anziehung allmählig wieder erwacht, also der Zustand des Stoffes sich dem vorhin geschilderten indifferenten Gleichgewicht der flüssigen Körper nähert, so wirkt die Anziehung wieder mit gegen die Abstossung: es kann also das Mariotte'sche Gesetz nicht mehr in aller Strenge gelten. Ist die Anziehung durch weitere Näherung der Atome so weit gewachsen, bis sie wieder im indifferenten Gleichgewicht mit der Abstossung steht, so ist das Gas flüssig geworden. Alle Gase aber stimmen darin überein, dass die Aetherabstossung die Anziehung überwiegt; damit dies bei derselben Temperatur und derselben

Spannung in gleicher Höhe der Fall sei, muss die Aetherabstossung, also auch die Anziehung der Körperatome dieselbe sein, welches letztere nur möglich ist, wenn die Zahl der Körperatome in gleichen Räumen verschiedener Gase dieselbe ist. Die Atome haben aber verschiedene Gewichte, daher müssen sich die Gewichte gleicher Gasräume wie die Atomgewichte verhalten.

§. 16. Ist nun aller Aether zwischen den Körperatomen als Wärme anzusehen? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir den Einfluss der Anziehung auf die Aetheratome in Betracht ziehen.



Auf das Aetheratom 1 wirkt mit sehr starker Anziehung das Körperatom a, mit sehr schwacher das Atom b; dasselbe wird demnach mit grosser Kraft bei a festgehalten, ebenso 2, 3 u. s. w; auf das Aetheratom 6 wirkt dagegen a ebenso stark, wie b; diese beiden entgegengesetzten Anziehungen heben sich einander auf, so dass 6 durch Nichts an seiner Stelle festgehalten ist; die um 6 liegenden Aetheratome erleiden eine um so geringere Restanziehung, je näher sie der Mitte 6 stehen oder kommen; um so mehr wird diese Restanziehung auch von ihrer eigenen Abstossung überwunden werden. Die Abstossung dieses mittleren Aethers kann desshalb gerade so wirken, als ob nur Aether vorhanden wäre und keine anziehenden Atome; dieser Aether ist vollkommen frei. Befindet sich ausserhalb des betreffenden Körpers kein freier Aether oder solcher von geringerer Dichte, so müssen die freien Aetheratome dorthin strömen, so lange bis die äussere Abstossung der inneren gleich ist; ist umgekehrt ausserhalb der freie Aether in grösserer Menge zwischen den Körperatomen vorhanden, ist er dichter, als der freie Aether in unserm eben betrachteten Körper, so muss bis zur Herstellung der Gleichheit Aether in den letzteren treten.

Der bei den Atomen durch eine seine Abstossung überwiegende Restanziehung festgehaltene Aether kann nicht nach aussen wirken; wir wollen ihn deshalb gebundenen Aether nennen. In der Nähe der Körperatome ist derselbe von grosser Dichte, während die freien Aetheratome, die sich nur in den mittleren Stellen befinden, weit auseinander stehen; in festen und flüssigen Körpern,

deren Atome nur einen sehr geringen Abstand haben, muss daher die Menge des gebundenen Aethers gross sein im Verhältniss zu der des freien; in den Luftarten dagegen, deren Körperatome weit von einander stehen, muss die Menge des gebundenen Aethers gegen die des freien sehr gering sein.

Unsere oben aufgestellte Hypothese: Wärme ist Aether, kann jetzt erweitert und bestimmt gegeben werden: Wärme ist freier Aether. Wird derselbe dichter, so wird seine, also auch jede Wärme-Wirkung erhöht; also ist die Temperatur die Dichte des freien Aethers. Darnach können wir zur Erklärung der Wärme-Erscheinungen im Sinne unserer Aetherlehre schreiten.

1. Die Entstehung der Wärme oder die Wärmequellen.

Die Verbrennung oder allgemeiner gefasst die chemische Verbindung.

§. 17. Eine chemische Verbindung ist ein Zusammentreten mehrerer Atome verschiedener Körper in eine Aetherhülle. Waren die Atome vorher einzeln vorhanden, so hatte jedes seine Aetherhülle; nach der Verbindung haben mehrere Atome nur eine Aetherhülle, es sind also Aetherhüllen frei geworden, zwar nicht ganz, da die eng neben einander gelagerten Körperatome eine stärkere Anziehung auf den Aether ausüben, als ein einzelnes Atom für sich, aber doch grossentheils. Darauf deutet auch die bekannte Thatsache, dass Legirungen einen niedrigeren Schmelzpunkt haben, als ihre Bestandtheile, also einer geringeren Aethermenge für denselben Zustand bedürfen, als diese. Die Atome dieses frei gewordenen Aethers stossen sich mit ungeschwächter Kraft ab und treiben sich daher einander selbst aus der in Einwirkung begriffenen Stoffmasse hinaus, so dass innen wie aussen der freie Aether dichter, die Temperatur erhöht wird. Geschieht die chemische Verbindung rasch, so wird viel Aether nach aussen getrieben; dort aber ist ebenfalls freier Aether, der sich zwar allmählig vermehrt, aber sowohl

vor- wie nachher abstossend auf die eintreffenden Aetheratome wirkt, wodurch dieselben zurückgeschleudert, von den nach ihnen austretenden aber sofort wieder vorangeworfen werden. Es müssen also die Aetheratome in Schwingungen gerathen. Nun sind aber die Producte der meisten gewöhnlichen Verbrennungen gasförmige Körper. In diesen ist die Menge der Körperatome, die von Hüllen dichter Aethers umgeben sind, sehr gering, während der Aether von gewöhnlicher Dichte einen grossen Raum ausfüllt. Es treffen daher die frei werdenden Aetheratome in diesen Producten nur seltener dichte Stellen, können also auch nicht so häufig zurück und wieder vorangeworfen werden. Es können daher nur selten und an wenigen, mehr zufälligen Stellen die Aetheratome in heftige Schwingungen gerathen, so dass die Zahl von 450 Billionen in der Secunde und darüber nur selten erreicht wird. Auch werden diese freige gewordenen Aetheratome nicht, wie es in den festen Körpern der Fall ist, wie wir sogleich sehen werden, von zahllosen Körperatomen in Anspruch genommen und gebunden, sie können also frei d. i. Wärme bleiben. Daraus folgt: Verbrennungen, deren Producte reine Gasströme sind, liefern licht- und farbenschwache, aber heisse Flammen.

Ganz anders gestaltet sich der Vorgang, wenn feste Körper in der Nähe des verbrennenden Stoffes sind oder in den Gasstrom der Verbrennungsproducte feste Massentheilchen mitgerissen oder erzeugt werden. Im ersten Falle bilden die Aetherhüllen der zahllosen Molecüle des festen Körpers lauter dichte, stark elastische Reflexionswände, von denen die frei gewordenen Aetheratome zurück-, dann wieder voran- u. s. w. geworfen werden. Dadurch muss der Aether in dem festen Körper in allmähig immer schnellere Schwingungen gerathen. Sind dieselben so heftig geworden, dass ihre Anzahl 450 Billionen in einer Secunde beträgt, so ist neben der Wärme auch rothes Licht vorhanden. Da 450 Billionen Schwingungen bei allmählichem Wachsen der Schwingungszahl eher entstehen, als eine grössere Anzahl, so muss jedes allmähliche Erglühen mit Roth beginnen. Das Entstehen der Rothgluth hängt also von der Zahl der in den festen Körper eintretenden Aetheratome und von der Elasticität der Molecüle desselben ab, also auch von der Zahl der Aetheratome einer Hülle. Der Unterschied zwischen den Atomzahlen der Aetherhüllen verschiedener Körper kann aber

nur ein relativ kleiner sein und dies insbesondere gegen die Menge der beim Erglühen eintretenden Aetheratome. Daher muss der Eintritt der Rothgluth vorwiegend von der Zahl der Aetheratome abhängen, welche in den festen Körper auf der einen Seite ein- und auf der andern Seite austreten. Daraus folgt der Draper'sche Satz: Die Rothgluth beginnt bei allen Körpern mit der nämlichen Temperatur. — Absolut richtig ist derselbe nicht nach der Aetherlehre. Die Rothgluth hängt auch von der materiellen Beschaffenheit des Körpers ab, muss besonders bei zusammengesetzten Stoffen, Legirungen u. s. w. bei anderer Temperatur eintreten, als bei Elementen; allein der Unterschied kann nur klein sein.

Geht nach Erreichung der Rothgluth die Erzeugung von freiem Aether noch weiter fort, so müssen auch Schwingungen von grösserer Schnelligkeit, als 450 Billionen in einer Secunde, entstehen und mit einander und diesen sich mischen: gelbe, blaue Lichtstrahlen tauchen auf und bilden mit den rothen zusammen die Weissgluth. Ganz ebenso erklärt sich die Gluth fester Massentheilchen, die in einer Flamme, also einem aufsteigenden heissen Gasstrom gerathen; auch sie gerathen bei einer immer heftiger werdenden Verbrennung in Weissgluth. Doch hängt dies offenbar von der Zahl der freiwerdenden Aetheratome ab. Hat ein Körper nicht soviel Aetheratome in seinen Hüllen, dass alle Schwingungsgeschwindigkeiten entstehen können, so kann bei seiner Verbrennung oder Gluth nur eine bestimmte Farbe entstehen, aus welcher wohl noch Schlüsse auf die Zahl der Aetheratome einer Hülle möglich sind. — So erklärt sich einfach die Entstehung der Wärme, Licht und Farbe bei der raschen Verbrennung.

Geht die chemische Verbindung langsam vor sich, so muss sich natürlich allmählig eben soviel Aether entwickeln, als bei rascher Verbrennung; wegen seines langsamen Austretens aber hat er Zeit, sich in grössere Entfernung auszubreiten; demnach können zwar Schwingungen entstehen, aber von so geringer Anzahl, dass sie noch keinen Lichteindruck machen, wenigstens nicht auf die menschlichen Augen unter gewöhnlichen Umständen. Bei langsamer Verbrennung entsteht also Wärme, aber kein Feuer.

So ist der Vorgang bei der Verbrennung von Elementen, wie Kohle, Schwefel, Phosphor u. s. w., bei der Oxydation der Metalle,

bei der Schwefelung des Kupfers, der Chlorung des Antimons u. s. w.; etwas anders gestaltet sich derselbe, wenn zusammengesetzte Körper verbrennen z. B. Holz, dessen Molecül aus vielen Atomen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht und bei dessen Verbrennung aus diesem einen Molecül viele Molecüle Kohlensäure und Wasserdampf entstehen. Bei einem Molecül Holz nämlich liegen nach allen Richtungen viele Atome in einer Reihe,



wie nebenstehende Durchschnittsfigur zeigt; es findet daher nach allen Richtungen auf die Aetheratome eine verstärkte Anziehung statt, die nach dem Mass der Atomenzahl grösser ist, als bei einem Atom, nur verkleinert durch die etwas grössere Entfernung der hinteren Atome in einer Reihe. Es sammelt daher jedes Molecül fast ebensoviel Aether um sich, als wenn alle seine Atome einzeln ihre Aetherhüllen hätten. Zerfällt jetzt das Molecül durch die Verbindung mit Sauerstoff oder die Verbrennung in Kohlensäure und Wassergas, so muss demnach gerade wie bei der Elementenverbrennung Aether frei werden, nur etwas weniger. Das bewährt die Erfahrung: ein Aequivalent Terpentinöl, das aus 36 Atomen Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, liefert durch Verbrennung 1475872 Wärmeeinheiten, also für ein Atom durchschnittlich 41000, während ein Aequivalent Kohlenstoff 48500 und ein Aequivalent Wasserstoff 34500 und daher durchschnittlich 41500 Wärmeeinheiten ergeben.¹ Es bewährt sich also unser, aus der Theorie abgeleiteter Satz, dass ein sehr zusammengesetztes Molecül und Elementenatome bei der Verbrennung für jedes Atom fast gleichviel Wärme liefern und dass bei dem Molecül die gelieferte Menge etwas kleiner sein muss. So wie überhaupt, wenn die Aetheranschauung richtig ist, an allen Stellen neue Sätze zum Vorschein kommen müssen, deren nachherige Bewährung erst die Wahrheit der Theorie zweifellos machen würde, so stösst uns hier sogleich ein Satz auf: Verbinden sich Atome zu sehr zusammengesetzten Molecülen, so kann nur eine Spur von Wärme frei werden; zerfallen sehr zusammengesetzte Molecüle in Atome, so kann nur eine Spur von Wärme gebunden werden; denn wir zeigten ja

¹ Kopp, Physikalische Chemie, S. 233.

oben, dass in beiden Fällen die umgelagerte Aethermenge fast gleich ist.

Bei der Verbrennung vielfach zusammengesetzter Molecüle liegt natürlich die grössere Anziehungskraft in dem Molecül; es werden daher die einzelnen Sauerstoffatome zu dem Molecül hingezogen und wirken zersetzend auf dasselbe; es ist also nicht der Aether des Molecüls, der dabei frei wird, sondern der Aether des Sauerstoffatoms. Da nun alle Sauerstoffatome gleichviel Aether um sich haben, so folgt daraus der Satz, dass bei der Verbrennung von sehr zusammengesetzten organischen Körpern die Wärmemenge der verbrauchten Sauerstoffmenge proportional ist, dass also gleiche Sauerstoffmengen gleiche Wärmemengen entwickeln.

Verbindet sich dagegen der Sauerstoff mit einem Element, so können die Atome ebensowohl in die Aetherhülle des Sauerstoffs als in die des andern Elements zusammentreten; es kann daher die entwickelte Wärmemenge in einzelnen Fällen derjenigen gleich sein, die bei der Verbrennung der zusammengesetzten Körper entsteht, in andern nicht. All diese Sätze bewähren die genauesten Versuche.¹

Kommt ein Element in mehreren Zuständen vor, wie z. B. der Kohlenstoff, der Schwefel, der Phosphor, so kann dies nur darin beruhen, dass im einen Zustand die Körperatome eine andere Entfernung besitzen, als im andern, dass daher im einen Zustand mehr Aether zwischen den Atomen vorhanden ist, als im andern; es müssen desshalb auch bei der Verbrennung der sogenannten allotropischen Modificationen der Elemente verschiedene Wärmemengen entstehen, während bei der Verbrennung solcher Modificationen sehr zusammengesetzter Körper ein solcher Unterschied nicht stattfindet, vorausgesetzt, dass die Verbrennungsprodukte dieselben sind.

Bei der Verbindung zusammengesetzter Körper bilden sich sehr verwickelte Molecüle, die starke Anziehung ausüben, folglich wird weniger Aether frei werden können, sich also nur eine geringe Wärmemenge entwickeln; besonders gering muss dieselbe ausfallen, wenn die Verbindung wie bei den starken Basen und Säuren nur eine Substitution des Hydratwassers durch einen andern Stoff ist. Aechte Verbindungen dagegen, wie Schwefelsäure mit der Basis

¹ Kopp, a. a. O. S. 235.

Wasser, oder Kalk mit der Säure Wasser müssen eine grössere Wärmemenge liefern, da hier Aetherhüllen frei werden.

Das Gegentheil der chemischen Verbindung, die Zersetzung, besteht in einem Austreten der Atome aus einer gemeinschaftlichen Aetherhülle; jedes austretende Atom aber zieht sich eine Aetherhülle herbei; es muss demnach Aether gebunden oder Kälte erzeugt werden. Ist aber bei einem solchen Austritt sogleich ein anderes Atom vorhanden, welches das ausgetretene mit chemischer Verwandtschaft anzieht, ehe dasselbe eine Aetherhülle angezogen hat, so bedarf es dazu nur geringer Kraft, weil die Abstossung der Aetherhülle noch nicht vorhanden ist. So erklärt sich die grosse Neigung zu chemischen Verbindungen, wenn die Elemente in statu nascendi sind.

Wenn zwei Stoffe von grosser Verwandtschaft mechanisch gemengt sind und viel Aether zwischen sie hineingetrieben wird, so setzt derselbe auch ihren Aether in Strömung, macht so für Augenblicke die Körperatome ätherfrei, führt andere in der lebhaften Strömung nahe an ihnen vorbei und gibt so die Möglichkeit der chemischen Verbindung. Sind aber Stoffe von geringer Verwandtschaft verbunden und eine Aetherströmung macht die Molecüle frei, so werden sich die gleichartigen Atome stärker anziehen, die Stoffe werden sich also scheiden. Diese Betrachtung erläutert die Wirkung der Wärme bei der chemischen Verbindung und Zersetzung. Anhänger der Bewegungslehre können der Wärme nur eine zersetzende Wirkung zuerkennen, da durch lebhaftere Bewegung der Atome dieselben nur in grössere Entfernung kommen können; aber muss nicht bei der Einleitung, wie auch Erhaltung vieler Verbrennungen Wärme vorhanden sein, ohne dass ihre schmelzenden oder zersetzenden Eigenschaften zur Wirkung kommen und müsste nicht die stark zersetzende Wirkung die durch Schmelzung hervorgerufene grössere Annäherungsfähigkeit wieder aufheben?

Die Sonnenwärme.

§. 18. Seitdem durch die genialen Forschungen Kirchhoff's in der Atmosphäre der Sonne die Dämpfe vieler Metalle z. B. des Eisens in grosser Menge nachgewiesen sind, besteht für die Erklä-

rung der Sonnenwärme keine Schwierigkeit mehr.¹ Die bisherige Ansicht Herschels und Aragos von einem dunkeln Sonnenkern, umgeben von einer Lichthülle, musste fallen. Wie die Erde in der Urzeit, so befindet sich die Sonne gegenwärtig noch in feurig flüssigem Zustande. Wärme, Gluth ist freiwerdender Aether; die Sonne stösst also fortwährend nach allen Seiten Aether aus. Aether aber ist wegen seiner nach allen Richtungen ausstrahlenden Abstossung absolute Elasticität. Wenn nun in einer Reihe elastischer Kugeln, die einander berühren, die erste einen Stoss erhält, so bleiben alle in Ruhe und nur die letzte fliegt mit einer der Stosskraft entsprechenden Geschwindigkeit fort. Ebenso ist der Weltraum mit Aether angefüllt, dessen Atome sich zwar nicht direct berühren, aber mit ihren Abstossungstrahlen, die ja unendlich dicht neben einander liegen, an und in einander greifen und demnach sich verhalten, wie jene Kugeln von beschränkter Elasticität, nur ihrer unbeschränkten Elasticität wegen noch augenblicklicher in ihrer Stosswirkung. Es müssen demnach, sowie die Sonne uns aufgeht, Aetheratome in unsere Atmosphäre hineingeschleudert werden, ohne dass der Aether des Weltraums vermehrt wird; es sind ja nicht die von der Sonne ausgestrahlten, sondern die unserer Atmosphäre nächsten Atome, welche in dieselbe eindringen, während sie durch jene ersetzt werden. Die obersten Schichten unserer Luft aber sind dem freien Aether sehr ähnlich, da in ihnen sich nur wenige Körperatome befinden. Es wird daher der freie stossende Aether des Weltraums in ihnen ebenso dichten freien Aether antreffen und die Bewegung sich demnach durch denselben fortpflanzen, ohne ihn zu vermehren. Kommen dann die fortgestossenen Aetheratome an dichteren Aether, so wird von demselben eine rückstossende Kraft ausgeübt, welcher der Sonnenstoss des freien Weltäthers sogleich entgegenwirkt, so dass die herbeigestossenen Aetheratome nicht zurück können; es muss also der Aether in den dichteren Luftschichten dichter und die Wärme vermehrt werden. Dies wird um so vollständiger der Fall sein, je mehr die Elasticität des Luftäthers im Stande ist, die ankommenden Aetheratome zurückzustossen, ohne dass dieselben wegen sogleich neu hinzukommender Aetheratome dem Rückstoss folgen können. Es muss demnach die Erwär-

1 *Kirchhoff*, Untersuchungen über das Sonnenspectrum, S. 12—21.

mung der Luft durch die Sonnenstrahlen um so stärker sein, je dichter dieselbe ist.

Wärmeerzeugung durch Raumverkleinerung des Stoffes.

§. 19. Durch Zusammendrücken der Körper, durch Stoss, Schlagen, Hämmern, Prägen u. dergl. wird bekanntlich Wärme erzeugt; allen diesen Verrichtungen gemeinsam ist die Raumverminderung des Stoffes. Eine solche kann nur vor sich gehen, wenn die Körperatome einander genähert werden, und dieses muss geschehen, wenn ein äusserer Druck von solcher Grösse ausgeübt wird, welche die Abstossung des Aethers überwiegt. Dann aber müssen auch die Aetheratome mehr zu einander gedrängt, also die Dichte des freien Aethers oder die Temperatur erhöht werden. Die Annäherung der Atome geht so weit, bis die nach §. 13 stärker vergrösserte Abstossung des Aethers der verstärkten Anziehung und der äusseren Druckkraft das Gleichgewicht hält. Wird der Druck vergrössert, oder der Schlag wiederholt, so muss auch die Dichte des freien Aethers wieder vergrössert, also die Temperatur abermals erhöht werden. Auf diese Weise soll man einen Nagel glühend hämmern können. Doch wird die Wärmeerzeugung nicht über jede Grenze hinausgehen; denn endlich werden die dichtesten Stellen der Aetherhüllen einander gegenüberstehen und eine so starke Abstossung äussern, dass sie nicht mehr überwunden werden kann. Dann kann fernerer Hämmern keine Wärme mehr erzeugen. Ferner stehen sich bei jeder folgenden Zusammenpressung dichtere Aethermassen gegenüber; es muss also bei öfter wiederholten Stössen oder bei gleicher Druckvermehrung die Wärmeentwicklung in steter Abnahme begriffen sein. So erzeugt der Prägestempel beim ersten Stoss die grösste Wärmemenge. Die Stosskraft der folgenden Stösse kann aber nicht erfolglos, nicht ganz verloren sein, denn Arbeit kann nicht vernichtet werden, ein Prinzip, das jetzt allgemein in der Mechanik gilt.¹ Kann die Stosskraft nicht auf die Atome des gehämmerten Körpers wirken, so muss sie durch den Rückstoss des Aethers desselben sich auf den Hammer fortpflanzen und dessen

¹ *Helmholtz*, die Erhaltung der Kraft.

Wärme erhöhen oder sie muss die Atome in Schwingungen versetzen, die sich durch die Verbindung aller Körper mit der Erde derselben mittheilen und in ihr ausbreiten. Diese Betrachtung gilt für alle festen und flüssigen Körper, also auch für das Eis; nur wird hier die erzeugte Wärme sogleich zum Flüssigwerden verbraucht. Eis muss daher durch Zusammenpressen theilweise schmelzen.¹

Die durch Raumverminderung frei werdende Wärmemenge steht zwar mit der Druckkraft in einem bestimmten Verhältniss; denn ein grösserer Druck muss eine stärkere Verdichtung des freien Aethers zur Folge haben. Doch wird nicht die ganze Kraft zu dem letzteren Zwecke verwendet, weil auch die Dichte des gebundenen Aethers vermehrt und die Körperatome einander genähert werden. Wüsste man, in welchem Verhältniss die gebundene Aethermenge und die Zahl der Körperatome zur Menge des freien Aethers steht, so liesse sich auch berechnen, welcher Theil des Kraftaufwandes zur Erzeugung von Wärme und welcher für „innere Arbeit“ d. h. zur Abstandverminderung der Körperatome und zur Verdichtung des gebundenen Aethers verbraucht wird. Für die festen und flüssigen Körper ist dies unmöglich. Bei den ächten Gasarten dagegen ist die Menge der Körperatome und des gebundenen Aethers gegen die Menge der freien Aetheratome verschwindend klein; von einem äusseren Druck wird deshalb bei den Gasen nur ein verschwindend kleiner Theil zu innerer Arbeit verwendet, also nahezu der ganze Kraftaufwand zur Erzeugung von Wärme benutzt. Es ist also die durch Raumverminderung der Gase erzeugte Wärmemenge der Druckkraft proportional. Da aber die Gase sehr lockeren freien Aether enthalten, so ist eine starke Zusammenpressung nöthig, um eine messbare Wärmemenge zu erzeugen; dies zeigt das pneumatische Feuerzeug, in welchem die Luft wohl auf ein Hundertel ihres Raumes zusammengepresst werden muss, um den Zunder zu entzünden.

Hierbei hatten wir die ächten Luftarten im Auge, die weit von dem flüssigen Zustand entfernt sind. In den Dämpfen aber, d. i. solchen Gasarten, die dem flüssigen Zustand näher stehen, ist die Nähe und daher die Anzahl der anziehenden Körperatome eine

1 *Mousson*, Poggendorff's Annalen, Band 105. S. 161.

grössere, also ist auch die gebundene Aethermenge nicht mehr verschwindend gegen die freie. Es wird demnach beim Zusammenpressen der Dämpfe ein messbarer Theil des Druckes zu innerer Arbeit, also nicht der ganze Druck zur Erzeugung von Wärme, verwendet. Ausserdem können dieselben, wie schon erwiesen, um so weniger dem Mariotte'schen Gesetze folgen, je näher sie dem flüssigen Zustand sind. Am interessantesten und am meisten untersucht sind in dieser Beziehung die Eigenschaften des Wasserdampfes. Hier muss man indess den mit dem Wasser noch in Berührung stehenden, eben aus demselben entstandenen sogenannten gesättigten Dampf, der dem flüssigen Zustand am nächsten steht, von demjenigen unterscheiden, der in einem eigenen Gefäss vom Wasser getrennt sich befindet und durch fernere Erhitzung weiter von dem flüssigen Zustand entfernt wurde, und den man desswegen überhitzten Dampf nennt. Der erste kann dem Mariotte'schen Gesetz nicht folgen; der letztere wird ihm um so mehr unterworfen sein, je mehr er zu einem ächten Gas, annähernd einer Masse freien Aethers, geworden ist, je weiter er also von dem flüssigen Zustand sich entfernt hat oder je stärker er überhitzt ist.¹ Bei dem Zusammenpressen beider Arten von Dampf muss Wärme frei werden; bei gesättigtem Dampf ist die erzeugte Wärmemenge geringer, weil hier ein grösserer Theil des Druckes in innere Arbeit übergeführt wird; die frei gewordene Wärme aber kann sogleich eine Verwendung finden: sie muss entweder das Wasser im Dampf, das mechanisch mit ihm fortgerissen wurde, oder das Wasser unterhalb des Dampfes im Kessel theilweise in Dampf verwandeln. Dadurch wird die Spannkraft des Dampfes Etwas steigen, allerdings nicht im gleichen Verhältniss mit dem Druck, da derselbe theilweise zu innerer Arbeit verbraucht wird. Beim überhitzten Dampf dagegen wird die durch den Druck und durch frei gewordene Wärme erhöhte Spannkraft um so mehr dem Druck verhältnissgleich sein müssen, als der Dampf dem gesättigten Zustand ferner steht.

§. 20. Zur Erklärung der Wärme Entstehung gehört auch die Entwicklung der negativen Wärme oder Kälte. Wie durch Raumverkleinerung Wärme erzeugt wird, so muss umgekehrt durch Raumvergrösserung Wärme verzehrt werden oder Kälte entstehen. Denn

¹ Zeuner, mechanische Wärmetheorie. S. 174.

werden Körperatome von einander entfernt, worin die Raumvermehrung liegt, so müssen auch die Aetheratome zwischen ihnen in grössere Entfernung von einander rücken, nicht bloss die Atome des freien, sondern auch die des gebundenen Aethers. Bei den festen und flüssigen Körpern, in welchen die Menge des gebundenen Aethers im Verhältniss zu der des freien eine grosse ist, ist der Vorgang etwas verwickelter, als bei den Luftarten, wo die Menge des gebundenen Aethers gegen die des freien verschwindet und daher der erste ausser Betracht bleiben kann. Bei jenen nämlich werden nicht bloss durch die Abstandvergrösserung mehrere Aetheratome mehr aus der Mitte entfernt und dadurch aus freiem zu gebundenem Aether, sondern es wird auch die Dichte des freien Aethers selbst geringer, so dass die Wärmeverminderung aus zwei Ursachen zusammengesetzt ist und daher einfacher Folgerung sich entzieht. Ausserdem ist bei flüssigen und festen Körpern eine Raumvergrösserung entweder gar nicht oder nur in längerer Zeit zu erzielen; es ist also die Wärmeabnahme nicht messbar. Bei den luftförmigen Körpern dagegen kann man die Ausdehnung so rasch vornehmen, dass der Wärmeverlust nicht sogleich durch die Umgebung ersetzt werden, also durch das Thermometer nachgewiesen werden kann. Bringt man nämlich in die Glocke der Luftpumpe, welche allmähig leer gepumpt wird, ein Thermometer, so sieht man dasselbe bei jedem Kolbenhub sinken und sich dann wieder heben, da der freie Aether der Glockenwand und der Umgebung von grösserer Dichte ist, seine Atome also sofort in die Glocke getrieben werden. Ist dieselbe ganz luftleer geworden, so ist sie demnach allmähig mit ebenso dichtem Aether, wie ihn die Umgebung besitzt, gefüllt, muss also dieselbe Temperatur, wie diese, zeigen, ein Verhalten, das die mechanische Wärmetheorie, wie die angesehenste der heutigen Bewegungs-Anschauungen genannt wird, schwerlich genügend wird erklären können.

Eine ganz ähnliche, allerdings zuerst von Anhängern der letzteren aufgefundene und berechnete Erscheinung¹ tritt auf, wenn man Luft in einen leeren Raum einströmen lässt. Dabei wird doch offenbar die einströmende Luft verdünnt, es müsste also nach der obigen Entwicklung eine Abnahme der Wärme in derselben statt-

¹ *Joule*, Philosophical Magazine, 26. p. 369. *Zeuner*, mechanische Wärmetheorie. S. 58.

finden; nun ist aber der leere Raum schon mit Aether von der Dichte des freien Aethers der Umgebung gefüllt, der zwar bei der Einströmung in Bewegung gesetzt wird, aber sogleich zurückströmen muss, wenn hinter ihm ein weniger dichter Aether nachfolgt. Das Schlussresultat ist also jedenfalls vollkommene Gleichheit der Temperatur vor und nach der Einströmung, wie es durch Joule's Versuch dargethan ist. Ob aber nicht während der Einströmung beim Zusammenstoss der bewegten Luft mit dem ruhenden Aether und an der Stelle dieses Zusammenstosses eine Temperatur-Erhöhung, weil Aetherverdichtung, stattfindet, wäre eine der Untersuchung, die der kurzen Dauer der Erscheinung wegen jedenfalls schwierig ist, sehr werthe und höchst wahrscheinlich zu bejahende Frage.

Ganz ähnlich wird beim Einströmen dicht zusammengepresster Luft in dünnere berücksichtigt werden müssen, dass die dünne Luft schon Aether enthält; zwar wird die dünne Luft von dem Strom der dichten fortgeschoben, allein ihr Aether würde sogleich zurückströmen müssen, wenn die Aetherdichte der einströmenden Luft tief herabsänke; es kann daher die Temperaturabnahme keine so bedeutende sein, als wenn vor der dichten Luft sich ein fester Körper befindet, der von derselben mit seinem Aether fortgeschoben wird; in solchem Falle lässt nämlich der feste Körper einen vollkommenen ätherleeren Raum hinter sich frei, welchen Raum alsdann die Luft mit ihrem Aether ausfüllt, so dass dessen Dichte im Verhältniss mit der Raumvergrösserung vermindert werden und dadurch eine starke Wärmeabnahme geschehen muss. Dieser Unterschied ist ebenfalls zuerst von der mechanischen Wärmetheorie nachgewiesen worden. Zeuner berechnet, dass Luft von einer Spannung von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären von 30° auf 1° herabsinkt, wenn sie in die freie Luft ausströmt, dagegen auf -4° , wenn sie einen ihrer eigenen Spannung gleichen Druck überwindet.¹

Für den letzten einfachsten Fall, dass die Luft sich in einen vollkommen ätherleeren, erst vor ihr durch Fortbewegung eines festen Körpers, wie eines Kolbens, entstehenden leeren Raum ausbreitet, ist es auch am einfachsten möglich, den Zusammenhang zwischen der Ausdehnung und der verschwundenen Wärmemenge, wie umgekehrt zwischen der Zusammendrückung und der erzeugten Wärme

¹ Zeuner, mechanische Wärmetheorie, S. 53 u. 56.

zu finden. Der freie Aether, der hier allein in Betracht kommt, nimmt den doppelten Raum ein, wenn die Luft um ihren eigenen Raum sich ausdehnt; seine Dichte wird daher geringer, es muss von aussen Wärme in das Gas treten, so lange bis die Dichte wieder dieselbe ist. Wird sodann das Gas wieder auf das doppelte Volumen gebracht, oder auf das vierfache des ursprünglichen, so muss die Dichte des Aethers wieder halb so gross werden, also wieder eben so viel Wärme eintreten oder verschluckt werden, als vorher; es ist demnach durch die vierfache Ausdehnung die zweifache Wärme verschluckt worden. Ebenso müsste sich für die achtfache Ausdehnung die dreifache Wärmemenge als verschwunden ergeben, während umgekehrt die achtfache Raumverkleinerung eine dreimal grössere Wärmemenge erzeugen müsste. So ergiebt sich der Carnot'sche Satz: Die entwickelten und verschluckten Wärmemengen bilden eine arithmetische Reihe, während die Volumina eine geometrische bilden.¹

Die übrigen zahlreichen und mannigfaltigen Eigenschaften, welche bei der Ausdehnung und Zusammenpressung der Gase auftreten, einzeln zu entwickeln, dazu fehlt hier der Raum; ausserdem folgen dieselben aus dem berühmten und fruchtbaren Satz von der Aequivalenz der Wärme und Arbeit, der auch unserer Stoffanschauung entspricht, und sind aus demselben in vielen tiefsinnigen Arbeiten von Clausius, Rankine u. A. auf mathematischem Wege entwickelt worden. Wir wollen desshalb nur diesen Satz noch kurz aus unserer Aethertheorie ableiten. Es kann dies hier desshalb auf einfache Weise geschehen, weil ja bei den Luftarten für die Fortschiebung der verhältnissmässig geringen Anzahl von Luftatomen mit ihren gebundenen Aetherhüllen nur wenig Kraft nothwendig ist, daher von der ausdehnenden Kraft des freien Aethers oder der Wärme in dichter Luft nur sehr wenig zur sogenannten innern Arbeit verwendet wird, weil also dieselbe fast ganz auf die Ueberwindung eines äussern Widerstandes, auf die sogenannte äussere Arbeit sich werfen kann, während in allen anderen Fällen das Auftreten innerer Arbeit neben der äusseren die Entwicklung des Satzes erschwert. Ist nun zwischen einer dünnen und einer dichten

¹ Carnot, sur la puissance motrice du feu, Paris 1824. Clausius, Poggendorff's Annalen, 79. S. 396.

Luftschicht ein gewichtloser Kolben, so wird sich die dichte Luft so lange ausdehnen, also ihre Aetherdichte oder Wärme so lange abnehmen, bis das Gleichgewicht hergestellt ist; es wird daher der Kolben mit der vor ihm befindlichen Luft fortgeschoben, demnach von dem Aether eine Arbeit geleistet. Ist aber in einem zweiten Fall der Unterschied der Dichten doppelt so gross, als vorher, so muss sich auch der dichtere Aether doppelt so weit ausdehnen, als vorher, um mit dem dünnen ins Gleichgewicht zu treten; er muss also auch den Kolben mit der äusseren Luft doppelt so weit vor sich herschieben, d. h. die doppelte Arbeit leisten. Im zweiten Falle hat aber auch die Aetherdichte doppelt so stark abgenommen, als im ersten, es ist demnach doppelt so viel Wärme verzehrt worden. Wir folgern hieraus den Satz: die von der Wärme geleistete Arbeit ist der verbrauchten Wärmemenge verhältnissgleich, demnach muss durch Verbrauch einer bestimmten Wärmemenge eine bestimmte Arbeit geleistet werden. Ebenso ergibt sich umgekehrt durch Verdoppelung der zusammendrückenden Kraft, die auf den Kolben eines Luft enthaltenden Cylinders wirkt, dass dann der Aether doppelt so dicht, also eine doppelt so hohe Wärme erzeugt wird; daraus folgt der zweite Theil des Satzes: eine bestimmte Arbeit muss eine bestimmte Wärmemenge erzeugen, wenn sie nicht in eine andere Arbeit verwandelt werden kann. Dies ist hier nicht der Fall, da die Näherung der wenigen Luftatome eine verschwindend kleine innere Arbeit erfordert, also der ganze äussere Druck sich auf die Verdichtung des freien Aethers oder Erzeugung von Wärme hinwenden muss.

Dieser hier so einfach aus unserer Theorie abgeleitete Satz wurde zuerst von dem deutschen Arzte Mayer¹ aus Heilbronn ausgesprochen und von Joule² durch zahlreiche Versuche bestätigt und befestigt; er ist seitdem in den Händen von Clausius, Rankine, Zeuner u. A. zu dem fruchtbarsten Satze der neueren Physik geworden und hat der Wissenschaft zahlreiche Erweiterungen zugeführt. Wir wollen von denselben nur eine merkwürdige Eigenschaft des Wasserdampfes anführen, weil dieselbe nicht mit Unrecht

1 *Mayer*, Annalen von Liebig und Wöhler, Mai 1842. *Mayer*, das mechanische Aequivalent der Wärme

2 *Joule*, Philosophical Transactions, T. I. 61 u. an vielen andern Orten.

Aufsehen erregte, aber in einfachem Zusammenhang mit unserer Aetheranschauung steht.

Wenn Dampf sich ausdehnt, mag er gesättigt oder überhitzt sein, so müssen die Aetheratome, wie bei den Gasen, weiter auseinander treten, der Aether muss also weniger dicht, die Wärme muss vermindert werden; ist der Dampf dem flüssigen Zustand nahe, so dass er nur mit der in ihm vorhandenen Wärmemenge als Dampf existiren kann, wie dies beim gesättigten Dampf der Fall ist, so hat jede Wärmeverminderung die Folge, dass ein Theil des Dampfes flüssig werden muss, wodurch wieder so viel Wärme frei wird, dass der andere Theil in luftförmigem Zustand verharren kann. Wird also gesättigter Dampf ausgedehnt, wie dies in jeder Expansionsmaschine der Fall ist, so muss sich ein Theil desselben flüssig niederschlagen. Dieser Satz, der von Clausius und Rankine¹ aufgefunden wurde, steht der Ansicht Pambour's, auf welche derselbe seine Theorie der Dampfmaschine erbaute, direct entgegen, ist aber schon durch Versuche² bewiesen.

William Thomson³ wandte zwar dagegen ein, aus den Ventilen der Hochdruckdampfmaschinen ströme der Dampf trocken aus, während dabei doch gewiss eine Ausdehnung stattfinde; denn man könne in einen solchen Dampfstrom ungefährdet die Hand halten, was unmöglich sein würde, wenn der Dampf heisses Wasser enthielte. Allein, von der Richtigkeit des Clausius-Rankine'schen Satzes überzeugt, suchte er selbst die letztere Erscheinung durch die Wärme zu erklären, welche mittelst der heftigen Reibung des ausströmenden Dampfes an den Wänden der Ventile erzeugt werde und das entstehende Wasser sofort wieder in Dampf umwandelte. Clausius⁴ widersprach dieser Erklärung und stellte Rechnungsergebnisse entgegen, die er aus der mechanischen Wärmetheorie erhielt und welche folgende Bedeutung haben. Da Wärme und Arbeit äquivalent sind, so muss viel Wärme vernichtet werden, wenn der Dampf eine grosse Arbeit verrichtet, derselbe muss daher theilweise flüssig werden; vollbringt der Dampf nur eine verschwindend kleine Arbeit, wie

1 *Clausius*, Poggendorff's Annalen, Band 79. *Rankine*, Edinb. Transactions, 20. p. 147.

2 *Hirn*, Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur.

3 *W. Thomson*, Philosophical Magazine, 37. 386.

4 *Clausius*, Poggendorff's Annalen, 82. S. 263.

z. B. wenn er in die Luft strömt, so bleibt er trocken, weil die Wärme desselben nur durch Arbeit verzehrt wird. Liesse sich von Seiten der Aetherlehre keine befriedigende Erklärung dieser Erscheinung geben, so wäre dieselbe ein entschiedener Beweis gegen diese und für jene Anschauung. Erinnern wir uns aber an die ähnlichen Thatsachen bei den Luftarten, so ist eine Erklärung von unserm Standpunkt aus wohl möglich. Wir zeigten dort, wie beim Einströmen von Luft in die Leere eine Wärmeerhöhung, wenn auch noch nicht nachgewiesen, so doch wahrscheinlich sei. Stark gespannter Dampf steht aber freier Luft gegenüber in einem ähnlichen Verhältniss. Die Strahlen des Dampfstroms dringen in die Luft ein, finden aber dort schon Aether, der zwar fort-, aber auch wieder zurückgestossen wird, so dass eine Verdichtung desselben, damit eine Wärmeerhöhung und hieraus schliesslich die Verdampfung des etwa durch die Ausdehnung erzeugten Wassers möglich erscheint, während Dampf, der einen Cylinderkolben vor sich hertreibt, in die vollkommene Leere hinter demselben gelangt und dort keinen Aether antrifft. Wäre aber auch diese oder Thomson's Erklärung nicht annehmbar, so glauben wir dadurch doch nicht zu einer Entscheidung für die Bewegungslehre verpflichtet zu sein, da das Verhalten des ausströmenden Dampfes auch sonst noch Räthsel bietet, wie ja z. B. die Ursache der dabei stattfindenden Electricität-Entwicklung noch unbekannt ist.

Wärmeerzeugung durch Reibung.

§. 21. Die Entzündung durch Stahl und Stein, durch Streichhölzchen, durch zwei längere Zeit an einander geriebene Holzstücke, die Erwärmung der Wagenachsen u. s. w. sind allgemein bekannte Beispiele für den Satz, dass durch Reibung Wärme entsteht. Bleiben wir bei diesen Beispielen stehen, so wird die Erklärung des Satzes nicht schwer fallen. Die Reibung besteht darin, dass die Erhöhungen des einen Körpers die des andern fassen, sie voran ziehen und, wenn die Reibung eine hin- und hergehende ist, auch wieder zurückdrücken. In jedem Fall werden die ergriffenen Theile den nicht ergriffenen genähert, dadurch eine Verkleinerung der Zwischenräume und hiermit eine Verdichtung des Aethers hervorgebracht. Ist die Verdichtung stark, was in Anbetracht der Grösse

der äusseren Kraft den kleinen Molecularkräften gegenüber meistens der Fall sein muss, so wird viel gebundener Aether zu freiem werden; da nun die Menge des gebundenen Aethers sehr gross ist, so kann, weil bei fortschreitender Annäherung der grösste Theil des gebundenen Aethers frei gemacht wird, sehr viel Wärme entwickelt werden. Allerdings müsste dann auch eine Aenderung in der Lage der Theilchen eintreten, die der Reibung ausgesetzt sind; das ist auch in hohem Grade der Fall, wenn die entwickelte Wärmemenge sehr gross ist; in nicht für uns merklichem Grade, wenn nur wenig Wärme entwickelt wird. Von der aufgewendeten Kraft wird ein Theil zur Bewegung der Körpertheilchen und nur der übrige Theil zur Verdichtung des Aethers verwendet; doch ist der erste Theil nicht gross, weil die reibenden Körper sich nur an der Oberfläche und da nur in einzelnen Puncten fassen, während die Verdichtung des Aethers wegen dessen unbeschränkter Elasticität an allen Theilen stattfindet und auch ins Innere fortschreitet. Es wird daher die erzeugte Wärmemenge mit der aufgewendeten Arbeit in einfachem Verhältniss stehen.

Schwieriger und für die Aetherlehre gefährlich wird die Erklärung der Wärmeerzeugung durch Reibung von flüssigen an festen Körpern. Schon Rumford¹ schloss aus seinen Versuchen, man könne durch Reibung eines messingenen Cylinders in Wasser eine unbeschränkte Wärmemenge erzeugen; es sei also die Wärme kein Stoff, denn die Menge des in einem Körper vorhandenen Wärmestoffs müsse jedenfalls beschränkt sein. Als nun gar durch die Versuche von Joule² bewiesen wurde, dass durch eine bestimmte Arbeit eine bestimmte Wärmemenge bei der Reibung entstehe, wie umgekehrt eine bestimmte Wärmemenge bei anderen Vorgängen in eine bestimmte Arbeitsgrösse verwandelt werde, als er weiter aus seinen Versuchen berechnete, dass durch einen Kraftaufwand von 424 Kilogrammometer eine Wärmeeinheit d. i. so viel Wärme erzeugt werde, als zur Erwärmung von 1 Kilogramm Wasser um 1° C. nöthig ist, welches Zahlenresultat durch verschiedene andere Versuche und Rechnungen bestätigt wurde, da machte man den Schluss: Wärme und Arbeit sind äquivalent; man folgerte weiter, die Wärme müsse eine Bewegung sein, da die ihr äquivalente Arbeit auch eine Be-

1 *Rumford*, Philosophical Transactions, 1798.

2 *Joule*, Philosophical Transactions, 1850.

wegung sei. Es entstand so die mechanische Wärmetheorie, deren Grundsatz eben dieser Satz von der Aequivalenz der Wärme und Arbeit ist und welche, wie wir oben sahen, schon die schönsten Resultate geliefert hat. Wir sahen aber auch schon an zwei Stellen, dass der Satz auch der Aetherlehre entspricht und seine Erfolge die letzte daher nicht vernichten. Hier haben wir nur noch zu zeigen, wie Wärme durch Reibung von Flüssigkeiten entsteht; mag nun in denselben ein Cylinder gedreht werden oder mögen metallene Arme durch dieselbe schlagen, immer werden Flüssigkeitstheilchen mit Gewalt aneinander gepresst, dadurch Aether verdichtet und so die Wärme erhöht; ob die entstehende Wärmemenge wirklich unbeschränkt sei, darüber belehrt uns kein Versuch ausreichend; sehr gross kann dieselbe sein, weil die Menge des gebundenen Aethers im Verhältniss zu der des freien sehr gross ist; eine der Arbeit verhältnissgleiche Menge muss es sein, da in allen Fällen zwar etwas Arbeit zur Näherung der Körpertheilchen verwendet wird, der weitaus grösste Theil aber immer die Abstossung des Aethers überwindet, also denselben verdichtet, und zwar um so mehr verdichtet, je mehr Kraft aufgewendet wird. Derjenige Theil der Kraft, welcher zur Näherung der Körpertheilchen verwendet wird, ist in allen Versuchen mit einem und demselben Apparat auch derselbe und kann selbst bei verschiedenen Apparaten nur in geringem Grade verschieden sein, besonders im Verhältniss zu dem grossen übrigen Theil, der die Aetherverdichtung vollbringt; daher kann jener Theil auch nur geringe Verschiedenheiten in den Versuchsergebnissen erzeugen, wie sie wirklich vorliegen. Ob die benutzten Wasser- und Quecksilbermassen nach den Versuchen in demselben Zustand waren, wie vorher, darüber stehen mir keine Angaben zu Gebote. Zweifelhafte ist es, doch liegt die Möglichkeit vor, dass dabei die Aenderungen durch die später wieder von aussen eintretenden Aetheratome beseitigt wurden.

2. Wirkungen der Wärme.

Die Ausdehnung.

§. 22. Die wichtigste Wirkung der Wärme ist die Ausdehnung d. h. die Vergrößerung des Raumes, den ein Körper einnimmt. Dieselbe tritt ein, so wie die freie Wärme eines Körpers vermehrt, also die Menge seines freien Aethers vergrößert wird. Untersuchen wir zunächst das Verhalten der luftförmigen Körper, da bei ihnen der freie Aether wegen seiner überwiegenden Menge allein in Betracht kommt, während bei den übrigen Körpern auch die anziehenden Körperatome, sowie der gebundene Aether ins Spiel treten. Weil alle Gase in dem Verschwinden der gebundenen Aethermenge gegen die freie übereinstimmen, demnach sämtlich annähernd als eine Masse freien Aethers betrachtet werden können, so müssen sie sich hinsichtlich der Ausdehnung nahezu gleich verhalten. Dieser Masse freien Aethers gegenüber muss aber auch eine neu hinzutretende Aethermenge denselben Erfolg haben, mag jener Aether dicht oder weniger dicht sein; die Menge der abstossenden Kraft wird durch eine und dieselbe neu hinzutretende Aethermenge in allen Fällen um gleich viel vermehrt, der Raum, den die Luft einnimmt, um gleich viel vergrößert. Diese spricht das Gay-Lussac'sche Gesetz aus: alle ächten Gase werden durch eine Temperaturerhöhung von 1° C. bei allen Temperaturen um 0,003665 ihres Volumens ausgedehnt und bei einer eben so starken Temperaturerniedrigung um eben so viel zusammengezogen. Wäre die Luft Nichts als freier Aether, so wäre dies Gesetz absolut richtig; sie enthält aber auch Körperatome und gebundenen Aether, also kann das Gesetz nur annähernd richtig sein; wirklich zeigen auch die Versuche von Magnus, Rudberg und Regnault kleine Verschiedenheiten bei jener Zahl für die verschiedenen Gase. Weiter wird bei höherer Temperatur, wo der freie Aether immer überwiegender wird, der Unterschied immer mehr verschwinden müssen und um so mehr hervortreten, je mehr die Gase sich dem flüssigen Zustand nähern. Endlich wird bei höherer Temperatur und stärkerem Druck, also

wenn der Aether dichter ist, die Ausdehnung durch eine und dieselbe Aethermenge etwas geringer sein müssen.

Würden die Gase jenem Gesetz unbeschränkt folgen, so könnten wir hier leicht finden, bei welcher Temperatur sie gar keinen Aether mehr enthalten; da das Gesetz aber nur annähernd gilt, so wird auch unser Resultat, für das wir um Erlaubniss zu einer ganz kleinen mathematischen Abschweifung bitten, nur annähernde Richtigkeit besitzen. Wenn gar kein Aether mehr vorhanden ist, so müssen die Luftatome in Nichts zusammenschmelzen, sie müssen den Raum Null einnehmen, wenn sie vorher den Raum v einnahmen. Durch 1^0 Temperaturerhöhung aber vergrößert sich der Raum 1 um $0,003665$ oder α , für t^0 also der Raum v um $vt\alpha$; der neue Raum ist daher $v + vt\alpha = v(1 + t\alpha)$; da derselbe = Null sein soll, so erhalten wir die Gleichung

$$v(1 + t\alpha) = 0$$

Weil in dieser Gleichung v ein Endliches ist, so kann sie nur bestehen, wenn $1 + t\alpha = 0$, oder

$$\text{wenn } t = -\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{0,003665} = -273^0.$$

Könnte man die Gase bis auf -273^0 abkühlen, so müssten sie unter der Voraussetzung, dass das Gay-Lussac'sche Gesetz auch noch in der Nähe des flüssigen Zustandes giltig wäre, den Raum 0 einnehmen, könnten also keinen Aether mehr enthalten. Da aber das Gesetz dann nicht mehr in aller Strenge gilt, so müsste jener Punkt noch etwas tiefer liegen, oder wir müssten uns auf das Verschwinden des freien und des allmähig frei gewordenen Aethers beschränken; der Zustand nun, in welchem der freie Aether gegen den gebundenen verschwindet, ist der flüssige und feste; bei -273^0 müssen also alle Gase flüssig oder fest sein.

In der mechanischen Wärmetheorie, wo der absolute Nullpunkt oder die Temperatur von -273^0 eine grosse Rolle spielt, ist nicht zu ersehen, warum der Raum Null werden soll; man könnte höchstens sagen, der absolute Nullpunkt trete ein, wenn die Atome keine Bewegung mehr machen, aber nicht darthun, warum sie dann keinen Raum mehr einnehmen, während in unserer Aethertheorie der Raum mit dem Aether verschwinden muss.

§. 23. In den festen und flüssigen Körpern ist die Menge des

freien Aethers gering gegen die Menge des gebundenen; ausserdem ist die Zahl und Nähe der Körperatome so gross, dass deren Anziehung nicht mehr vernachlässigt werden darf, sondern stark ins Spiel der Abstossung neu eintretenden Aethers wirkt. In den festen Körpern insbesondere sind die Atome einander so nahe, dass ihre Anziehung gegen einander sehr gross ist und mit der Abstossung des Aethers das früher geschilderte stabile Gleichgewicht bildet; wird nun die Wärme oder der Aether vermehrt, so wird die Gesamtabstossung zwischen den Körperatomen vergrössert, dadurch werden diese sowohl als die Aetheratome von einander entfernt, weshalb die Anziehung abnimmt, die Abstossung aber, wie ebenfalls oben aus einander gesetzt, in stärkerem Grade vermindert wird, und zwar so lange, bis beide wieder in stabilem Gleichgewicht sich befinden; doch ist die Grösse der Stabilität wegen der Verminderung der Anziehung etwas geringer, als vorher. Da nun der neue Aether den dichten gebundenen Aether der festen Körper und die stark anziehend wirkenden Körperatome aus einander zu treiben hat, so muss die Ausdehnung durch die Wärme bei den festen Körpern viel geringer sein, als bei den Gasen, wo nur sehr dünner freier Aether und verschwindend wenig Körperatome zu verdrängen sind. In den flüssigen Körpern dagegen, deren Körperatome ihrer grösseren Entfernung wegen sich nur schwach anziehen, muss die Ausdehnung stärker sein, als bei den festen, allein aus den eben angeführten Gründen weit hinter derjenigen der Luftarten zurückbleiben.

Die Anziehung der Atome und Molecüle verschiedener Stoffe ist verschieden nach und wegen der verschiedenen Abstände derselben; wo also, wie bei den festen und flüssigen Körpern, die Anziehung der Abstossung neu eintretenden Aethers entgegenwirkt, muss sie auch bei verschiedenen Stoffen verschieden wirken und daher für jeden Stoff die Ausdehnung durch die Wärme eine andere sein, während da, wo die Anziehung ganz ausser Betracht bleiben kann, wie bei den Gasen, auch die durch sie begründete Verschiedenheit wegfällt.

Auch wenn in einem und demselben Körper die Atome nach verschiedenen Richtungen verschiedene Entfernung und daher verschiedene Anziehung haben, muss entsprechend die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche sein, wie es die

Krystalle mit ungleichen Achsen nach Mitscherlich's Versuchen deutlich zeigen.

Dieselben Gründe, welche die Ausdehnung der flüssigen Körper grösser als die der festen, und die der luftförmigen noch grösser erscheinen lassen, müssen auch den Erfolg haben, dass die Grösse der durch eine bestimmte Temperaturerhöhung erzielten Ausdehnung mit der Temperatur selbst zunimmt. Die sorgsamten Versuche Kopp's bestätigen dieses Resultat.¹

Am meisten besprochen und untersucht, jedoch am unerklärlichsten ist die Ausnahme, die das Wasser zwischen 0° und 4° C. zeigt, dass es nämlich bei dieser Erwärmung sich nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, also umgekehrt bei der Abkühlung von 4° auf 0° sich ausdehnt. Jedenfalls hängt diese Ausnahme mit der anderen zusammen, dass das Wasser von 0° , wenn es in Eis von 0° übergeht, sich nicht zusammenzieht, wie es die andern Flüssigkeiten im entsprechenden Falle thun, sondern sich noch einmal und zwar weit stärker ausdehnt, als zwischen 4° und 0° .

Sollten diese Erscheinungen nicht mit der Krystallform des Wassers, den langen spiessigen Nadeln, die auch seiner zweiatomigen Zusammensetzung entsprechen, zusammenhängen? Im flüssigen Zustand können die Molecüle nicht in der Richtung der stärkeren Anziehung, in der Richtung der zwei Atome nämlich, zusammentreten, indem zu viel Aether zwischen ihnen liegt, so dass sie nach allen Richtungen durch einander liegen. Tritt aber Aether aus, so müssen sich die Molecüle in der Richtung der starken Anziehung zu langen Spiessen aneinander legen, die sich nun gegenseitig, wie an gefrorenen Fenstern kreuzen, an- und gegen einander stellen und dadurch viele grosse Poren bilden, wodurch ihr Gesammttraum grösser wird. Sollte nun nicht die Annahme möglich sein, dass eine derartige Gruppierung in sehr geringem Grade schon bei 4° beginne, sich bis 0° sehr langsam vermehre und erst bei 0° allgemeiner werde, so dass die geringe Ausdehnung von 4° bis 0° und die dann plötzlich eintretende starke Vergrösserung in innerem Zusammenhang stehen? Deutet darauf nicht auch die bekannte Erfahrung, dass sehr ruhig gehaltenes Wasser tief unter den Nullpunkt abgekühlt werden kann, ohne zu erstarren, während der

¹ Kopp, Liebig's Annalen, Band 93.

geringste Anstoss, der die Molecüle in Bewegung setzt, dann die Eisbildung vermittelt? Ausserdem, zwingt man die Molecüle durch sehr starken Druck, in ihrer Lage zu verharren, können sie also nicht in ihrer Längenrichtung zusammentreten, so muss der flüssige Zustand, der dann allerdings nur ein scheinbarer ist, in noch grösserer Kälte erhalten bleiben, wie es die Versuche von Thomson¹ und Mousson² beweisen.

Ist diese Erklärung richtig, so müssten andere Körper von ähnlicher Krystallform ähnliches Verhalten zeigen.

Auch die mechanische Wärmetheorie hat von dieser merkwürdigen Ausnahme noch keine Erklärung gegeben; denn die Berechnungen Zeuner's,³ nach welchen zwischen 4° und 0° eine Compression nicht Wärme erzeugt, sondern verzehrt, und welche durch Joule's⁴ Versuche bestätigt werden, gehen von Kopp's Formel aus, welche eben die fragliche Erscheinung schon enthält, geben also keine Erklärung derselben.

Die Schmelzung.

§. 24. Wird festen Körpern Wärme zugeführt, so wird ihr Aether vermehrt und dadurch die Abstossung zwischen den Körperatomen vergrössert; in Folge dessen müssen dieselben weiter aus einander treten, wodurch ihre Anziehung vermindert wird. Ist die Menge des zugeführten Aethers so gross, dass die Körperatome in solche Entfernungen gebracht werden, durch welche die Anziehung derselben nahe = Null ist, so ist der Körper flüssig geworden oder geschmolzen. Die eingetretene Aethermenge hat dabei nicht bloss die Dichte des schon vorhandenen freien und gebundenen Aethers erhöht, sondern auch die vergrösserten Zwischenräume mit entsprechend dichtem Aether ausgefüllt. Aber die Temperaturerhöhung eines Körpers besteht bloss in grösserer Verdichtung seines freien Aethers; es ist also nicht die ganze zugeführte Wärme- menge zur Erhöhung der Wärme benutzt worden, sondern nur ein der Grösse der Atomenanziehung entsprechender Theil; der übrige

¹ W. Thomson, Philosophical Magazine, 37.

² Mousson, Poggendorff's Annalen, 105.

³ Zeuner, mechanische Wärmetheorie. S. 181.

⁴ Joule, On the Thermal Effects of Compressing Fluids.

Theil hat die Dichte des gebundenen Aethers vermehrt und die vergrösserten Zwischenräume ausgefüllt, kann sonach nicht fühlbar sein, ist als Wärme verschwunden und wird daher latente Wärme genannt. Danach müsste auch schon latente Wärme vorhanden sein, wenn der Körper noch nicht flüssig ist, wenn auch nur ein geringer Theil der ganzen im flüssigen Körper vorhandenen; dass beim Schmelzen eine viel grössere Wärmemenge latent wird, als beim Erwärmen, erklärt sich auf folgende Weise: In allen festen Körpern ist die Anziehung in der einen Richtung grösser, als in der andern; es wird daher beim Hinzutreten von Aether in der zweiten Richtung die Anziehung schon den Grenzwert erreicht haben, wenn sie in der ersten noch merklich gross ist. Bis sie nun in dieser ersten Richtung den Grenzwert erreicht hat, ist sie in der zweiten vollständig = Null geworden. Es müssen daher in dieser Richtung die Atome weit aus einander fahren; die entstehenden Zwischenräume müssen dann mit Aether ausgefüllt werden von der Dichte des schon vorhandenen Aethers; daher ist so viel Wärme nöthig, um eine Flüssigkeit von der Siedetemperatur in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, d. i. die latente Schmelzwärme.

Da die Gesamtabstossung des Aethers zwischen den Körperatomen von der Dichte desselben abhängt und die Entfernung der Körperatome von der Dichte und Menge desselben, so ist klar, dass für jeden Körper nur bei einer bestimmten Aetherdichte oder Temperatur und bei einer bestimmten Aethermenge oder latenten Wärme der flüssige Zustand eintreten kann. Bei jedem andern Körper ist aber auch die Atomennähe und daher die Anziehung eine andere, woraus sich ergibt, dass für verschiedene Körper eine verschiedene Temperaturerhöhung und eine verschiedene Menge latenter Wärme zur Ueberwindung der Anziehung bis nahe = Null oder zum Schmelzen nöthig ist.

§. 25. Wird umgekehrt einer Flüssigkeit, also einem Körper, in welchem indifferentes Gleichgewicht zwischen der kleinen Anziehung und dem Luftdruck einerseits und der Abstossung andererseits stattfindet, Wärme oder Aether entzogen, so lange bis die Anziehung für sich allein ein stabiles Gleichgewicht mit der Abstossung bildet, so wird der Körper fest; es wird dabei nicht bloss die Dichte des freien Aethers erniedrigt, sondern auch die ganze Aethermasse der verschwundenen Zwischenraumtheile nach aussen

gedrängt, also die latente Wärme frei. Da aber die Anziehung dann eine messbare, bedeutende Grösse hat, so müssen auch die Verschiedenheiten derselben in verschiedenen Richtungen hervortreten, ja der feste Körper in seinem gewöhnlichen Zustand kann nur entstehen, wenn die Theile die Möglichkeit und Zeit haben, sich nach der Richtung der grössten Anziehung zu gruppieren, nicht also, wenn sie durch Druck, wie schon erwähnt, in ihrer Lage festgehalten werden, wie die Versuche Thomson's und Mousson's beweisen, oder wenn sie in zu heftiger Bewegung sind,¹ oder wenn der Druck, den sie selbst auf einander ausüben, nicht durch einen leichten Anstoss überwunden wird. In diesen Fällen kann die Temperatur weit unter den Erstarrungspunkt gehen, ohne den wirklich festen Zustand, in welchem die Theile nach der Richtung ihrer grössten Anziehung gruppiert sind, zu erreichen, sie sind dann grossentheils in den andern Richtungen gruppiert, in welchen die geringeren Anziehungen wirken und daher noch nicht fähig, ein stabiles Gleichgewicht zu bilden.

Wäre diese Anschauung richtig, so müssten Flüssigkeiten, die beim Festwerden reguläre Krystallformen annehmen, oder die nur aus Atomen bestehen, wie die Elemente, und die organischen kugelförmigen Molecüle jene Erscheinungen nicht zeigen, worüber keine Angaben vorliegen, ausser den schönen Untersuchungen von Bunsen² über Wallrath und Paraffin und denen von Hopkins³ über dieselben Stoffe, so wie über Schwefel und Stearin; diese zeigen nämlich, dass bei einer Erhöhung des Druckes jene Stoffe schon bei einer höheren Temperatur erstarren, was sich daraus erklärt, dass der Druck die Anziehung alsdann unterstützt.

Nach obiger Erklärung besteht das Schmelzen in einer so starken Vergrösserung der Atomenabstände, dass die Anziehung unter Mitwirkung des Luftdruckes nahe = Null; es muss daher bei allen Schmelzungen eine Volumvergrösserung stattfinden. Die Ausnahme, die das Wasser hierin zeigt, ist schon in §. 22 besprochen. Stoffe von ähnlicher Krystallform, wie das Wasser, müssten, wenn jene Erklärung ausreichend sein sollte, eine ähnliche

1 *Despretz*, Comptes rendus. II.

2 *Bunsen*, Poggendorff's Annalen, Band 81.

3 *Hopkins*, Athenaeum, 1854. S. 1207.

Ausnahme zeigen. Für eine grosse Menge von Stoffen ist es bis jetzt vollkommen unmöglich gewesen, sie in den flüssigen Zustand zu bringen; wie viel weniger können also die feineren Eigenthümlichkeiten des Uebergangs studirt sein?

Die Verdampfung.

§. 26. An ihrer Oberfläche sind die Flüssigkeiten in Berührung mit der Luft, in der sich viel freier Aether befindet, indem die Zwischenräume der Luftatome sehr gross sind; es wird daher die Abstossung an vielen Stellen in der berührenden Luftfläche grösser sein, als an darunter befindlichen Stellen der Flüssigkeit, in welchen ganz oder theilweise gebundener Aether vorkommt; daher muss Aether in die Zwischenräume der Flüssigkeit treten und die Abstossung vermehren, bis dieselbe der Anziehung und dem Luftdruck gleichkommt und die Oberflächentheilchen sonach luftartig geworden sind. Daraus folgt, dass die Flüssigkeiten an ihrer Oberfläche langsam verdunsten.

Wird Aether in grösserer Menge, also bei starker Erhitzung, in die Flüssigkeit so lange getrieben, bis seine Abstossung die Anziehung, den Luftdruck und den Druck der auf ihm ruhenden Masse von Flüssigkeit überwiegt, so wird die Flüssigkeit auch im Innern luftförmig, es beginnt das Sieden.

Von dem Zustand, in welchem die Anziehung nahe = Null, bis zu ihrer völligen Ueberwindung ist nicht weit; es liegt daher der Siedepunkt der Flüssigkeit verhältnissmässig nicht weit über dem Schmelzpunkt. Im Augenblick der Ueberwindung aber müssen die Luftatome weit auseinander fahren und daher grosse Zwischenräume bilden; daher ist viel Aether zur Ausfüllung derselben nothwendig und muss sonach beim Verdampfen verhältnissmässig viel Wärme verbraucht oder latent werden. Der indifferente Gleichgewichtszustand, der bei flüssigen Körpern stattfindet, ist bei jedem andern Körper nach dem Abstand seiner Atome ein anderer; daher sind die Unterschiede zwischen dem Siedepunkt und dem Schmelzpunkt bei verschiedenen Körpern nicht einander gleich. Der Siedepunkt wird erhöht, d. h. die nöthige Wärmemenge muss grösser werden, wenn die Anziehung unterstützt wird, wenn also zwischen dem flüssigen Körper und seiner Gefässwand Adhäsion stattfindet,

oder wenn feste Körper, wie bei Salzlösungen, in flüssigen Körpern gelöst sind; er muss auch erhöht werden, wenn der Luftdruck grösser wird, weil dann zu dessen Ueberwindung eine grössere Aetherdichte nöthig ist. Umgekehrt muss er erniedrigt werden, wenn der Luftdruck geringer wird; und wenn derselbe ganz verschwindet, also im luftleeren Raum, ist von den zwei Factoren, welche der Abstossung das Gleichgewicht halten, der eine = Null, die Abstossung überwiegt und die Flüssigkeit muss auch im Innern in Dampf übergehen.

§. 27. Die Spannkraft der Dämpfe, die sich im Innern einer Flüssigkeit beim Kochen bilden, muss etwas grösser sein, als die Spannkraft der äusseren Luft, damit dieselben neben dieser auch den Druck der Flüssigkeit, die noch auf ihnen ruht, überwinden können; kommen sie aber an die freie Luft, so müssen sie sich gemäss ihrer etwas grösseren Spannkraft ausdehnen, bis sie an Spannkraft der Luft gleich geworden sind. Strömen sie dagegen in einen geschlossenen Raum, so können sie ihre Spannkraft behalten, drücken dann stärker auf die Flüssigkeit, wesshalb dieselbe nicht mit der vorigen, sondern nur mit einer höheren Temperatur sieden kann; diese höhere Temperatur aber theilt sich dem abgeschlossenen Dampfe mit, wodurch dessen Abstossung vermehrt, also seine Spannung vergrössert wird; der neu gebildete Dampf strömt nun dazu mit seiner höheren Temperatur und höheren Spannung, mit seiner die anziehenden Atome weit überwiegenden Aethermasse, so dass die Spannkraft des mit Flüssigkeit eingeschlossenen und höher erhitzten Dampfes aus zwei Gründen wächst. Aber mit dem Einströmen neuen Dampfes treten auch mehr Körperatome herein, die der Abstossung entgegen wirken; demnach sind drei Veränderungen eingetreten. Daher kann eine einfache Abhängigkeit der Spannkraft von der Temperatur nicht gefolgert werden, so lange man nicht die Grösse und das Wirkungsgesetz von jedem der drei Einflüsse genau kennt. Die ausgezeichneten Versuche von Magnus und Regnault haben uns zwar die Grösse der Spannkraft des Wasserdampfes bis zu 200°, wo sie 20 Atmosphären beträgt, kennen gelehrt, es wurden auch verwickelte mathematische Formeln aufgestellt, in denen diese Zahlenresultate enthalten sind, allein ein einfaches Gesetz für den Zusammenhang zwischen Spannung und Temperatur ist auch durch Versuche nicht gefunden. Man wird es wohl auch dann erst finden, wenn man genau weiss, wie Abstossung

und Anziehung in jedem Körper ihrer Grösse nach sich zu einander verhalten, welche Aethermenge einer Wärmeeinheit entspricht, wie viel Aether frei und besonders, wie viel Aether gebunden ist; dann wird man berechnen können, welcher Theil der zugeführten Aethermenge durch die grössere Menge der Wassermolecüle festgehalten wird, und daraus endlich, in welchem Verhältniss die von diesem gebundenen Aether erübrigte und mit der des freien zusammenwirkende Abstossung zur freien Aethermenge steht.

Alle diese Umstände müssten auch für verschiedene Körper bekannt sein, wenn man einen Zusammenhang zwischen den Siedepunkten derselben und zwischen den Spannungen ihrer Dämpfe angeben wollte; die Beobachtung für sich allein kann hierzu nicht verhelfen, da ihre Erfolge durch zu viele, verschiedenartig von der Temperatur abhängige Einflüsse hervorgerufen werden, die daher in den Zahlenresultaten nicht erkennbar sind. Die sorgfältigsten Versuche Regnault's, verbunden mit mathematischer Zusammenstellung seiner Resultate, hatten nur den Erfolg, das ohnedies stets angezweifelte Dalton'sche Gesetz umzustossen. Dies ist eine der Stellen, an welcher dem unbefangenen Forscher die Meinung aufgedrängt wird, dass die inductive Methode allein nicht zum Ziele führt, sondern dass eine durch Induction gewonnene gesunde und einfache Hypothese, der mathematischen Behandlung unterworfen, in vielen Fällen der Weg zur Wahrheit sein muss.

Ist ein Dampf zu einer ächten Luftart geworden, d. h. so weit von dem Siedepunkt entfernt, dass er keine mitgerissene Flüssigkeit mehr enthält und die Atome in diejenige Entfernung gerathen sind, welche die Aethermenge in das oft erwähnte Uebergewicht bringt, so muss seine Mischung mit einem andern ähnlich beschaffenen Dampf oder einem Gas seine Aethermenge um so viel vermehren, als der Spannung des zugemischten Dampfes oder Gases entspricht, vorausgesetzt, dass die Stoffe keine chemische Einwirkung auf einander haben, also ein wirkliches Gemenge bilden. Es folgt daraus das Gesetz, dass die Spannung des Gemisches gleich ist der Summe der Spannungen der Bestandtheile. Sind die Bestandtheile dagegen dem Siedepunkt nahe, so bringt die Mischung eine grössere Nähe von Körperatomen und dadurch eine stärkere Wirkung der Anziehung auf den Aether hervor; dann kann nicht mehr aller gemischte Aether mit seiner ganzen Kraft nach

aussen abstossend wirken, es muss daher das Gesetz ein wenig beeinträchtigt erscheinen. Aus dieser Betrachtung folgt auch, dass die Dichte oder das Gewicht eines Dampfes in der Nähe des flüssigen Zustandes etwas zunehmen muss, wie die Versuche von Ca-
hours beweisen.

Wird einem Dampf Wärme entzogen, also sein Aether vermindert, oder wird er zusammengedrückt, also der Aether herausgetrieben, so wird das Uebergewicht desselben allmählig abnehmen, bis endlich die Körperatome einander so nahe sind, dass ihre Anziehung gegen einander wieder erwacht und demnach der Dampf condensirt wird. Geschah diese Condensation durch Druck, so ist der flüssige Zustand ein Gleichgewichtszustand zwischen eben diesem Druck und der eben erwachten Anziehung einer- und der Aetherabstossung andererseits: hört der Druck auf, so überwiegt die letztere und treibt die Atome wieder zu Dampf auseinander, wobei natürlich die Zwischenräume plötzlich sehr dünnen Aether erhalten und daher von allen Seiten mit Aether gesättigt werden. So erklärt sich die starke Kälte bei Verdunstung condensirter Gase.

Die Erwärmung.

§. 28. Ein Körper, dem Wärme zugeführt wird, erhält eine höhere Temperatur oder wird selbst erwärmt, weil die Dichte seines freien Aethers vergrössert wird, mit Ausnahme des Falles der Zustandsänderung; denn hier wird alle zugeführte Wärme zur Ausfüllung der stark vergrösserten Atomzwischenräume verwendet, also latent, ohne den schon vorhandenen freien Aether verdichten zu können. In allen anderen Fällen, wo die Dichte des freien Aethers sich vermehrt, wird hierdurch der Druck auf den gebundenen Aether vergrössert; daher wird derselbe zusammengepresst, sein Raum verkleinert und an die Stelle von gebundenen Aetheratomen müssen freie rücken, also gebunden werden. Ausserdem wird durch die vergrösserte Gesamtabstossung zwischen den Körperatomen deren Abstand vergrössert und der so gewonnene Raum mit Aether gefüllt. Zugeführte Wärme oder neu eintretender Aether hat also drei Aufgaben zu erfüllen: den freien Aether zu vermehren, den gebundenen zu verdichten und die Vergrösserung der Zwischenräume auszugleichen. Die letzte Aufgabe ist bei Erwärmung um wenige Grade sehr

gering und verschwindet gegen die Summe der beiden andern, da die Ausdehnung gering ist; hier haben wir es nur mit der Erwärmung zu thun, also nur die Aetherverdichtung in's Auge zu fassen.

Die Aethermenge einer Hülle nun ist bei den Molecülen bedeutend grösser, als bei den Atomen. Gegen diesen Unterschied sind die Unterschiede zwischen den Aethermengen der verschiedenen Elementenatome verschwindend klein, z. B. die Aetherhüllen eines Wasserstoffatoms und eines Sauerstoffatoms erscheinen gegen die eines Terpentinöl- oder eines Holzfaseratoms fast gleich, wie die in §. 17 angeführten Zahlen beweisen; aus denselben folgt auch, dass diese Unterschiede sogar gegen die Menge der Aetherhüllenatome jener Elemente selbst sehr unbedeutend sind.

Ausser diesen für alle Körper geltenden Betrachtungen muss bei den festen und flüssigen Körpern noch das grosse Uebergewicht des gebundenen Aethers gegen den freien berücksichtigt werden, was uns gebietet, bei den Erscheinungen der Erwärmung vorzüglich den ersteren in's Auge zu fassen. Die ganze Masse des gebundenen Aethers aber in einem Element hängt von der Anzahl der Aetherhüllen oder der Körperatome ab, daher auch die Menge des für eine bestimmte Erwärmung erforderlichen Aethers und, da bei verschiedenen Elementen die Unterschiede im Aethergehalt gegen die ganze Masse des Aethers verschwinden, so kommt es auch hier vorwiegend auf die Zahl der Atome an. Um also von zwei verschiedenen Elementen eine ganz gleiche Atomenzahl um gleich viel zu erwärmen, müssen ihre nahezu übereinstimmenden Aetherhüllen um gleich viel verdichtet, muss also beiden nahezu gleich viel Aether zugeführt werden. Daraus folgt der seiner Zeit mit grossen Hoffnungen begrüßte Satz von Dulong und Petit: Die Atome der Elemente brauchen gleich viel Wärme für gleiche Temperatur-Erhöhung oder haben gleiche Wärmecapacität. Vom Standpunkt der Stoffanschauung aus müssen wir sogleich hinzufügen, dass der Satz nur annähernd richtig ist; denn jedes andere Atom hat eine andere, wenn auch wenig andere Aetherhülle, bedarf also auch zu gleicher Verdichtung eine allerdings sehr wenig verschiedene Aethermenge. Die feinsten und genauesten Versuche, wie sie der Grossmeister der Experimentirkunst, Regnault, in neuester Zeit angestellt hat, ergaben nur kleine Unterschiede. Man versuchte, dieselben durch die Ungenauigkeit der Atomgewichte

zu erklären, wir sehen aber, dass sie der Stoffanschauung entsprechen.

Molecüle haben grössere Aetherhüllen; zur Verdichtung derselben ist also auch eine grössere Aethermenge nöthig, als zur Verdichtung einer Atomenhülle. Daraus folgt: zur Erwärmung von Molecülen ist mehr Wärme nöthig, als zur Erwärmung von Atomen und zwar um so mehr, je zusammengesetzter das Molecül ist. Molecüle aus gleich vielen und gleichartig gruppirten Atomen haben nahezu gleiche Aetherhüllen; zur gleichen Verdichtung derselben ist eine nahezu gleiche Aethermenge erforderlich. Daraus folgt der Neumann'sche Satz: Chemisch ähnliche Molecüle haben gleiche Wärme-Capacität. Nach der Stoffanschauung kann der Satz nur annähernd richtig sein, wie Versuche beweisen.

Nun aber haben die Atome verschiedene Gewichte; daher sind in einem Pfund des sehr schweren Goldes viel weniger Atome, als z. B. in einem Pfund des leichten Lithiums; berücksichtigt man demnach gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper, so ergibt sich, dass ein atomistisch leichter Körper eine grössere Wärmemenge zur gleichen Erwärmung nöthig hat, als ein atomistisch schwerer. Daraus ergeben sich die Verschiedenheiten in der Wärmecapacität oder specifischen Wärme der Körper.

Nach neueren chemischen Theorien wird es wahrscheinlich, dass bei vielen Elementen der Kern einer Aetherhülle nicht aus einem, sondern aus zwei, ja aus mehreren Atomen besteht. Bei den zweiatomigen Kernen liess sich folgern, dass zur Verdichtung ihrer Aetherhülle auch eine doppelte Aetherzufuhr erfordert würde.: darauf deutet die Thatsache, dass die Wärmecapacität der Atomgewichte mancher Elemente doppelt so gross erscheint, als die der meisten andern.

Wenn ein Körper zusammengepresst wird, so vermindert sich, wie früher geschildert, seine Aethermenge; zur Verdichtung dieser geringeren Aethermenge ist weniger Aether nothwendig. Umgekehrt hat die Ausdehnung eines Körpers, sowie seine Temperaturerhöhung eine Vermehrung des Aethers zur Folge, zu dessen Verdichtung auch mehr Aether nöthig ist. Im Verhältniss zu der grossen Menge des freien und gebundenen Aethers sind jedoch diese Vermehrungen und Verminderungen sehr gering. Wir schliessen daraus den Satz:

Die specifische Wärme eines Körpers wächst in sehr geringem Masse mit der Temperatur und nimmt ab, wenn die Dichte zunimmt.

Auch die sogenannten allotropischen Modificationen verschiedener Körper, wie des Schwefels, sind in geringen Veränderungen der Atomenabstände begründet, veranlassen daher eine geringe Veränderung der Aethermenge und damit geringe Unterschiede in der specifischen Wärme.

Da die Aethermenge eines chemischen Molecüls nicht in einfachem Zusammenhang mit derjenigen seiner Atome steht, so kann auch ein einfaches Gesetz über den Zusammenhang zwischen den Wärmecapacitäten der Elemente und denjenigen der Verbindungen nicht bestehen. Ein Zusammenhang zwischen beiden muss existiren; das zeigt z. B. die grosse Wärmecapacität des Wassers, die es seinem grossen Gehalt an Wasserstoff verdankt, der von allen Stoffen seiner grossen Leichtigkeit wegen die grösste Wärmecapacität hat; dass aber das flüssige Wasser noch eine doppelt so grosse specifische Wärme besitzt, als das feste, muss in dem viel grösseren Aethergehalt des ersteren seinen Grund haben.

§. 29. Die Gase enthalten eine überwiegende Menge freien Aethers; sieht man von dem gebundenen Aether ganz ab, so sind alle Gase ganz gleich, woraus sich ergibt, dass für gleiche Raumtheile von ihnen gleichviel Aether zu einer gleich starken Verdichtung nöthig ist; dadurch ist der Satz dargethan: gleiche Gasvolumina haben gleiche Wärmecapacitäten. Der Satz ist um so weniger richtig, je mehr gebundenen Aether ein Gas enthält, je zusammengesetzter also der Kern der Aetherhüllen ist und je näher die Gase dem flüssigen Zustand sind. Um so mehr aber müssen dieselben dann dem Gesetz von Dulong und Petit unterliegen, das wir für flüssige und feste Körper abgeleitet haben. Bei den luftförmigen Körpern tritt der einfachen Ableitung dieses Gesetzes das Uebergewicht des freien Aethers, sowie die starke Ausdehnung der Luftarten entgegen, wobei die entstehenden Räume von neu eintretendem Aether ausgefüllt werden müssen. Daraus sollte man schliessen, dass die Wärmecapacität der Gase sehr gross sein müsse, indem eine grosse Wärmemenge zur Ausfüllung jener Zwischenräume nöthig ist. Zieht man dagegen in Betracht, dass hier nur der freie Aether von geringer Dichte und nicht, wie bei

den festen und flüssigen Körpern, gebundener Aether von sehr grosser Dichte durch neu eintretenden Aether weiter zu verdichten ist, und dass viel weniger Stoff zur Verdoppelung der Dichte eines feinen als zu der eines dichten Stoffes nothwendig ist, so folgt, dass die Wärmecapacität der Gase im Durchschnitt nicht grösser sein muss, als jene der andern Körper. Im Gegentheil, hindert man die Vergrösserung des Volumens, indem man die Gase einschliesst, so kann kein Aether zur Ausfüllung von Zwischenräumen verbraucht werden und es muss daher die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen gering sein, jedenfalls geringer, als bei veränderlichem Raume; und da die Ausdehnung mittelst der Wärme bei allen Gasen dieselbe ist, so muss auch die Verminderung der Wärmecapacität, welche durch die Verhinderung der Ausdehnung erzielt wird, bei allen dieselbe sein und wirklich bestätigen alle Versuche den Satz: bei beständigem Rauminhalt ist die specifische Wärme aller Gase 1,41 mal geringer, als bei veränderlichem Raume. — Lässt man das Uebergewicht des freien Aethers zu, so kann man das Dulong-Petit'sche Gesetz für die ächten Gase auch folgendermassen ableiten: Gleiche Gasvolumina müssen gleich viel Luftatome enthalten (§. 15); so weit nun das obige Gesetz: „gleiche Gasräume haben gleiche Wärmecapacitäten“, gilt, so weit folgt auch sofort, dass alle Luftatome gleiche Wärmecapacität besitzen..

3. Fortpflanzung der Wärme.

Unterschied zwischen Wärmestrahlung und Wärmeleitung.

§. 30. Die Entstehung der Wärme ist, wie in §. 17 bis §. 21 dargethan wurde, eine Entwicklung freien Aethers. Trifft nun ein freigewordenes, also mit einer gewissen Stosskraft voran geschleudertes Aetheratom auf eine lange Reihe von Aetheratomen, die sämmtlich frei, also absolut elastisch sind und mit ihren Abstossungsstrahlen in einander greifen, so wird fast in demselben Augenblick das letzte Atom der Reihe fortgestossen, etwa in einen benachbarten Körper hinein, so dass derselbe Wärme empfängt, ganz auf dieselbe

Weise, wie von einer langen Reihe von elastischen Kugeln die letzte fortfliegt, wenn die erste mit einer gewissen Kraft auf die zweite trifft; nur muss beim Aether die Geschwindigkeit der Fortpflanzung wegen seiner unbeschränkten Elasticität noch viel augenblicklicher sein, als bei den Kugeln von beschränkter Elasticität. Diese Art der Fortpflanzung der Wärme ist die *Wärmestrahlung*. —

Treffen dagegen die entwickelten Aetheratome auf einen Körper, d. i. ein Gemenge freier und gebundener Aethermassen, in welchen der freie Aether der ersten Atomschichte von geringerer Dichte ist, als der neu eintreffende Aether, so wird die grössere Abstossung des letzteren den ersten zusammenpressen, zugleich den hierdurch gewonnenen Raum ausfüllen und so den freien Aether verdichten; der mit dem freien Aether in enger Verbindung stehende gebundene Aether der ersten Atomschichte muss dadurch auch zusammengepresst, die Körperatome müssen von einander entfernt und so der entstandene Zwischenraum mit entsprechend dichtem Aether erfüllt werden. Trifft nun der verdichtete freie Aether der ersten Atomschichte auf gebundenen Aether in der zweiten, so wird er zurückgestossen, kann aber diesem Rückstoss nicht folgen, da vor ihm neue Aethermassen eintreffen, so dass auch der gebundene Aether hinter ihm verdichtet werden muss; dadurch wird dessen Abstossung auf den freien Aether der zweiten Schichte vergrössert, also auch dieser verdichtet, während die neu zutretende Aethermasse die Ausfüllung der gewonnenen Zwischenräume vollbringen muss. Weil in dieser Weise, um das neue Gleichgewicht herzustellen, die mit dem freien Aether innig verwebten gebundenen Aetherhüllen an allen Aenderungen Theil nehmen müssen, wozu eben wegen ihres Gebundenseins viel mehr Zeit erforderlich ist, als zur fortschreitenden Verdichtung des freien Aethers, so erklärt sich leicht, dass diese Art der Wärmefortpflanzung oder die *Wärmeleitung* viel langsamer vor sich geht, als die Strahlung. Auch kann eine entfernte Körperstelle nur dann ätherverdichtet oder erwärmt werden, wenn alle Stellen zwischen ihr und der Wärmequelle ihre Verdichtung erhalten haben, während bei der Strahlung die Dichte des fortpflanzenden Aethers während und nach der Fortpflanzung ganz dieselbe bleibt.

Die Wärmeleitung.

§. 31. Die Möglichkeit, daher auch die Grösse der Wärmeleitung hängt also davon ab, dass der freie Aether der ersten Atom-schichte auf gebundenen Aether der zweiten treffe; diese Bedingung wird desto leichter erfüllt sein, je mehr Körperatome in einem gewissen Raume vorhanden sind, je dichter also der Körper ist. Daraus folgt sofort: die festen Körper sind die besten Wärmeleiter, flüssige Körper besitzen eine geringere und die luftförmigen Körper die geringste Fähigkeit der Wärmeleitung. Ausser der Dichtigkeit des Körpers, aber in engem Zusammenhang mit derselben, ist noch die Menge des Aethers in einer gebundenen Aetherhülle von Einfluss auf die Wärmeleitung; dieselbe hängt von der Grösse der Anziehung des Kernes und der Entfernung der verschiedenen Kerne von einander ab; ist also mit der Dichte in theilweisem Zusammenhang, theilweise von derselben unabhängig, so dass die beiden Einflüsse nicht in gleichem Grade ab- und zunehmen; der Einfluss der Dichte kann mit dem der Aetherhülle zusammenfallen, verstärkt und geschwächt werden. Es muss demnach die Wärmeleitung zwar im Allgemeinen bei dichteren Körpern, wie bei den Metallen grösser sein, als bei minder dichten, wie Steinen und Hölzern, aber ohne dass sie der Dichte gerade proportional ist. Bei einem und demselben Körper aber, wo die übrigen Umstände dieselben sind, muss die Wärmeleitung im engsten Zusammenhang mit der Dichte stehen, mit ihr wachsen und abnehmen. So zeigen die Versuche von Knoblauch¹, dass Holz in der Richtung seiner Fasern die Wärme besser leitet, als in der dazu senkrechten Richtung, während Sénarmont schon längst nachwies, dass die Krystalle mit ungleichen Achsen, bei denen die Dichte nach verschiedenen Richtungen ungleich gross ist, eine ebenso ungleiche Wärmeleitung nach diesen Richtungen besitzen.

Die Gesetze der Wärmeleitung, wie sie von Poisson, Fourier und Biot in unvergesslichen Arbeiten entwickelt wurden, haben, wenn auch nicht zur Voraussetzung, so doch zur Grundlage die Annahme eines repulsiven Wärmestoffes, daher ihre Ableitung hier unterbleiben kann.

¹ Knoblauch, Poggendorff's Annalen, 105.

Die flüssigen Körper überragen die festen hinsichtlich der Entfernung der kleinsten Theilchen, aber nicht in dem Grade, wie sie in dieser Beziehung von den luftförmigen überragt werden: demnach ist die Wärmeleitung der flüssigen Körper jedenfalls kleiner, als die der festen, doch stehen sie denselben in dieser Hinsicht näher, als den luftförmigen; sie unterscheiden sich nur gradweise und nicht wesentlich von den festen Körpern. Dies bewähren die Versuche von Despretz,¹ nach welchen die Wärmeleitung des Wassers der Zahl 8 entspricht, wenn die des Kupfers durch die Zahl 1000 und die der Ziegel durch 14 ausgedrückt ist.

In den flüssigen Körpern ist ausserdem die Anziehung eine sehr kleine und daher nach allen Richtungen gleiche; desshalb findet eine vollkommen gleichmässige Lagerung der Theilchen statt, dieselben sind nicht in eine bestimmte Richtung oder Reihenfolge durch eine überwiegende Anziehung gezwungen, es sind nach jeder Richtung Flüssigkeitstheilchen anzutreffen. Daraus folgt einfach: die lang bestrittene Fähigkeit der Wärmeleitung muss den flüssigen Körpern innewohnen, da der bewegte freie Aether in jeder Richtung auf gebundenen Aether treffen muss.

Bevor wir zur Wärmeleitung der Luftarten übergehen, wollen wir erst die Erscheinungen im leeren Raum etwas näher untersuchen. In den ätherleeren Raum, neben welchem Wärme entsteht, fliegen die entwickelten Aetheratome massenhaft hinein, werden von dem dichteren Aether an der entgegengesetzten Körpergrenze zurück und von neu eintretendem Aether wieder voran geworfen, bis Gleichgewicht stattfindet. Aehnlich ist der Vorgang im luftleeren, aber äthererfüllten Raume; entsteht an dessen Grenze Wärme oder dichter Aether, so wird das letzte Aetheratom an der entgegengesetzten Grenze voran, von dem gebundenen dichteren Aether dieser Grenze aber wieder zurückgeworfen; es wirkt in derselben Weise auf das erste Aetheratom zurück, dem aber neu entwickelte Atome folgen, so dass im leeren Raum durch Strahlung und Gegenstrahlung der Aether endlich verdichtet wird und zwar am ersten und stärksten in der Nähe der Wärmequelle, wodurch diese Wirkung der Leitung sehr ähnlich wird. Wären die Luftarten nur

¹ Despretz, Annales de chim. et de phys. Tome 71.

freier Aether, so würde diese Betrachtung auch für sie gelten; sie können aber nur annähernd so angesehen werden, daher gilt die Folgerung auch nur in geringerem Masse für dieselben; aber sie gilt doch und zwar um so mehr, je weniger gebundener Aether vorhanden, je geringer also die Gesammtanziehung der Körperatome oder je leichter die Luftart ist. Hieraus muss man sofort schliessen: Wasserstoff wird von allen Gasarten am meisten durch Strahlung und Gegenstrahlung in der Nähe der Wärmequelle erwärmt und andere Gase um so weniger, je schwerer sie sind. Diese Erwärmung ist nun zwar keine wirkliche Leitung, allein sie ist derselben in der Wirkung vollkommen gleich; sie tritt nur im begrenzten Raume auf, für welchen bis jetzt allein die Wärmeleitung der Gase untersucht wurde; sie würde verschwinden im unbegrenzten Raume, während in diesem die ächte Wärmeleitung hervortreten müsste, die der grossen Abstände der Gasatome wegen, jedenfalls verschwindend klein ist. Ueber diese Wärmeleitung liegen keine Versuche vor, während die vortreffliche Arbeit von Magnus¹ über die Erwärmung abgeschlossener Gasräume von oben ergibt, dass der Wasserstoff die grösste Erwärmung zeigt; für die übrigen Gase fand Magnus gar keine Wärmeleitungsfähigkeit, während nach obiger Entwicklung auch für diese eine geringere eigene Erwärmung durch Strahlung und Gegenstrahlung entstehen müsste. Auch haben andere Physiker² schon behauptet, eine solche wesentliche Verschiedenheit der Gase, wie sie aus Magnus' Versuchen hervorginge, sei nicht wohl denkbar, während Clausius³ aus theoretischen Betrachtungen für die schwereren Gase zwar eine geringere Wärmeleitungsfähigkeit ableitete, sie denselben aber nicht abspricht. Bei letzterem bleibt desshalb auch, wie bei uns, unerklärt, warum dichter Wasserstoff besser leitet, als dünner, wie die Versuche von Magnus ergeben. Clausius folgert sogar aus seinen Rechnungen, dass die Wärmeleitung der Gase von dem Druck auf dieselben, also auch von der Dichte, unabhängig sei, was innerhalb gewisser Grenzen der obigen Anschauung entspricht.

1 *Magnus*, Poggendorff's Annalen, Band 112.

2 *Wüllner*, Experimentalphysik, Band 2. S. 430.

3 *Clausius*, Poggendorff's Annalen, Band 115.

Noch besser ist natürlich die Leitung durch Strahlung und Gegenstrahlung in einem begrenzten leeren Raum; derselbe muss sich im Momente seiner Entstehung mit Aether von der Dichte der Umgebung erfüllen. So erklärt sich die Wärme der Toricelli'schen Leere und der Glocke der Luftpumpe, so erklärt sich der sphäroidische Zustand. Der Raum zwischen dem glühenden Blech und der Flüssigkeit ist mit Aether von solcher Dichte erfüllt, dass die Abstossung desselben dem Gewichte des Leidenfrost'schen Tropfens gleich ist und dieser daher, vom Aether getragen, wie das Oel beim Plateau'schen Versuch, die Kugelform annehmen muss. Dass der dichte Aether allmählig in den Tropfen dringen muss, ist klar; darum verdampft derselbe auch allmählig. Da die Verdampfung nicht überall gleich stark ist, so muss der Tropfen herumrollen, wie eine Kugel auf einer Ebene, wenn man von ihr an verschiedenen Stellen Stücke abschneidet.

Die Wärmestrahlung.

Allgemeine Gesetze.

§. 32. Wenn Wärme aus einem Körper in den sogenannten leeren, also nur mit Aether erfüllten, oder in einen Luftraum tritt, in welchem sich wegen der grossen Entfernung der Luftatome von einander überwiegend viel freier Aether befindet, so müssen die freiwerdenden, also aus dem Körper austretenden Aetheratome nach allen nur möglichen Richtungen hinfliegen, da sie sich selber nach allen nur möglichen Richtungen abstossen und aus einem Atomzwischenraum des wärmestrahlenden Körpers nicht einzeln, sondern in sehr grosser Anzahl hervorge drängt werden, ähnlich wie ein Teig, der aus einem Loch einer zusammengedrängten Blase quillt, nach allen nur möglichen Richtungen sich ausbreitet. Es werden daher von der Stelle des Wärmeaustritts nach allen nur denkbaren Richtungen Wärmestrahlen ausgesendet oder die strahlende Wärme breitet sich nach allen Richtungen aus, wie das Licht. Die Fortpflanzung ist auch nach allen Richtungen möglich, da in jeder nur denkbaren Richtung Aetheratome hintereinander liegen, welche lange, gerade Reihen bilden. Wird das erste Atom einer solchen Reihe getroffen durch ein neu eintreffendes Aetheratom, so wird das letzte Atom der Reihe fast in dem-

selben Moment fortgeschleudert. Zwar muss jedes Atom der Reihe dabei eine kleine Bewegung voran machen und die rings herum liegenden Aetheratome, in deren Abstossungstrahlen die seinigen eingreifen, daher ein wenig mitreissen, so dass auch der Aether rings um das letzte Atom der Reihe herum ein wenig vorangestossen werden muss (eine Thatsache, auf die wir später zurückkommen werden), allein nur das letzte Atom der Reihe wird von derselben vollkommen losgelöst und in den benachbarten Körper eingeschleudert. Daraus folgt sofort, dass die Wärmestrahlen, so lange sie sich im leeren oder Luft-Raum fortpflanzen, gerade Linien sind. Die Erscheinung muss sich ändern, sowie die Aetherstösse auf einen andern Körper, ja sogar auf Luftschichten von grösserer Dichte treffen, welche durch den Gehalt an stark elastischen Körperatomen die Möglichkeit bieten, dass die Richtung des Aetherstosses eine Ablenkung erleidet.

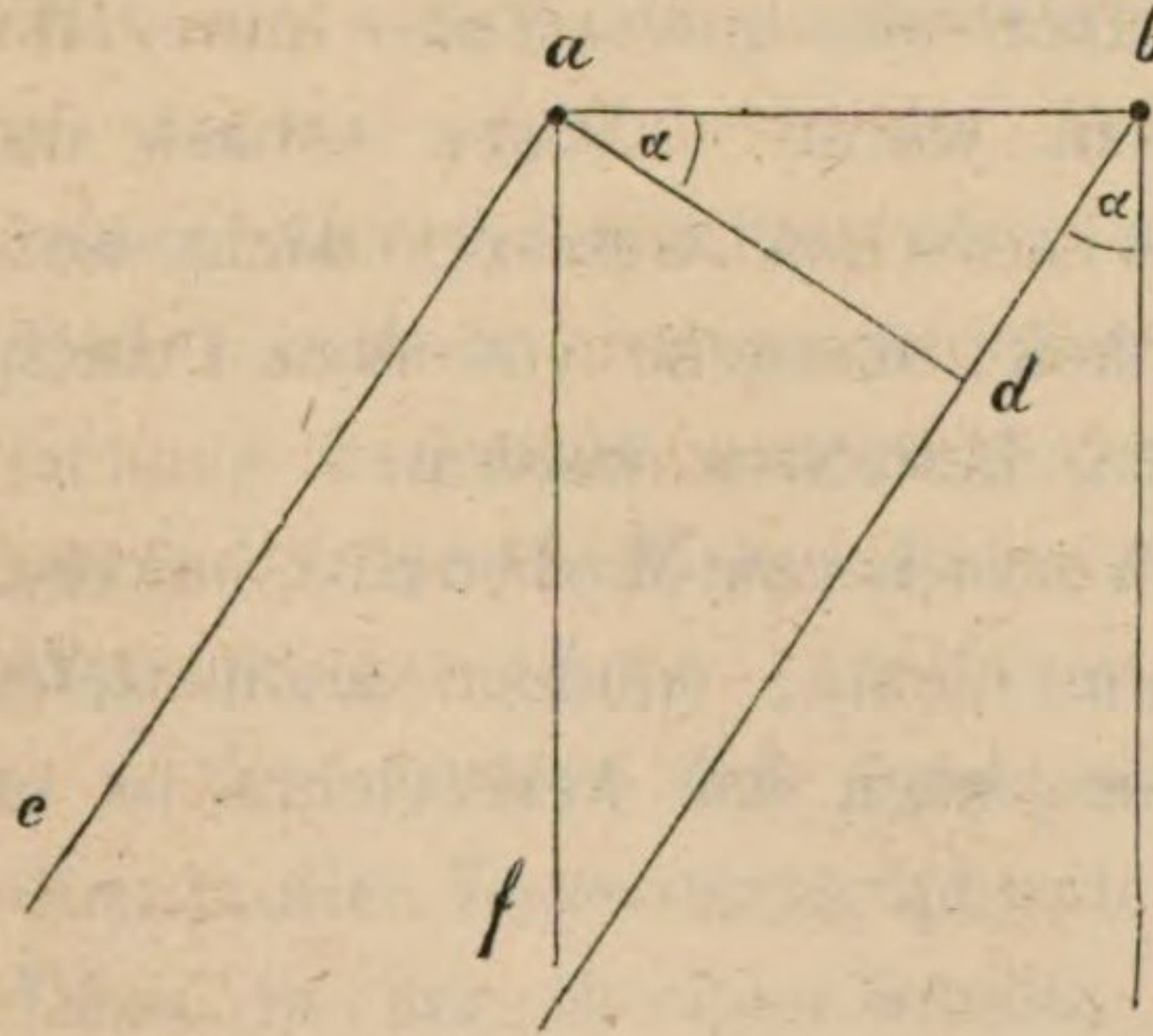
Die Zahl der von jedem Punkt einer Wärmequelle ausgehenden Aetherstrahlen ist zwar sehr gross und setzt ebensoviel Aetherreihen in Bewegung, aber doch nicht unbeschränkt; ebensowenig kann sich die Zahl der die Stossbewegung enthaltenden Aetherreihen unterwegs vermehren, wenn auch zwischen denselben, ähnlich wie Kugelausschnitte nach aussen immer breiter und dicker werden, neue Aetherreihen in immer grösserer Zahl auftauchen. Doch nur die von der Wärmequelle getroffenen Reihen entwickeln an ihrem Ende freien Aether. Diese Enden aber bilden, da die Fortpflanzung nach allen Richtungen gleich schnell geschieht, die Oberfläche einer gedachten Kugel, welche in der doppelten, drei-, vier- fachen Zeit den doppelten, drei-, vier- fachen Radius haben muss und daher nach einem bekannten geometrischen Satze die vier-, neun-, sechzehn- fache Oberfläche hat. Auf diese in quadratischem Masse immer grösser werdende Kugeloberfläche vertheilen sich die von den betreffenden Enden der Aetherreihen fortgeschleuderten Aetheratome, daher kann ein Flächenstück von bestimmter Grösse z. B. ein Quadratzoll in der doppelten Entfernung nur viermal weniger, in dreifacher Entfernung neunmal weniger u. s. w. Aetheratome erhalten, als in der einfachen. Daraus folgt der Satz: die Stärke der Wirkung der strahlenden Wärme steht im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrat der Entfernung.

Jeder Körper enthält freien Aether. Ist der freie Aether der Umgebung des Körpers ebenso dicht, als jener, so findet Gleichgewicht statt: der Körper wird dann keine Wärme ausstrahlen. Es könnte allerdings sein, dass dem freien Aether des Körpers Stellen seiner Umgebung nahe oder berührend wären, die theilweise gebundenen Aether enthalten und daher eine geringere Abstossung nach aussen verüben; es müsste dann in diese Stellen Aether des Körpers eintreten; allein dies wäre keine Wärmestrahlung mehr, sondern nach dem Vorausgehenden Wärmeleitung. Bei der Wärmestrahlung ist nur der freie Aether ins Auge zu fassen; hat dieser im Körper und seiner Umgebung gleiche Dichte, so ist die Abstossung überall gleich gross: es findet also keine Strahlung statt. Die Stoffanschauung kennt demnach das Princip des beweglichen Gleichgewichtes nicht. Nach diesem strahlt nämlich jeder Körper immer Wärme aus, selbst wenn er ebenso warm ist, wie seine Umgebung und seine Temperatur nicht ändert; man nimmt zur Erklärung an, dass er aus seiner Umgebung ebensoviel Wärme durch Strahlung empfangt, als er an dieselbe durch Strahlung abgibt.

Ist der freie Aether der Umgebung eines Körpers dünner, als der des Körpers, so ist in letzterem die Abstossung grösser, als in der Umgebung; es muss demnach so lange Aether in die Umgebung gestossen werden, bis Gleichgewicht d. i. gleiche Temperatur vorhanden ist. Jeder Körper strahlt also Wärme aus, wenn seine Umgebung weniger warm ist, als er selbst und Stellen freien Aethers darbietet. Diese Erscheinung sagt uns, dass strahlende Wärme und Licht in ihrem Wesen durchaus nicht einerlei oder identisch sind; sonst müsste überall Licht auftreten, wo ein Körper Wärme ausstrahlt, während doch vollkommen dunkle Körper in finsterster Nacht Wärme ausstrahlen können. Es muss noch ein tiefer eingreifender Unterschied zwischen beiden bestehen, als bloss die Verschiedenheit der Einwirkung eines und desselben Agens auf das Auge und auf das Gefühl oder das Thermometer; denn alle Körper können Wärme ausstrahlen, sowie ihre Umgebung kühler ist, als sie selbst, Licht aber nur, wenn sie glühend gemacht werden. Die Anhänger des Principes der Identität von Licht und strahlender Wärme wissen allerdings auch diesen auffallenden Unterschied zu deuten; sie erklären nämlich, dass es auch Aether-

schwingungen d. i. Licht gebe, welches keinen Eindruck auf das Auge mache, eine Behauptung, welche allerdings nicht zu leugnen ist und auf welche wir noch eingehender zurückkommen müssen. Diese dunkeln Lichtstrahlen sollen es nun sein, welche von dunkeln warmen Körpern in ihre kühlere Umgebung ausgestrahlt und von diesen als Wärme empfangen werden. Es erklärt sich nun auch, warum dieser Anschauung das Princip des beweglichen Gleichgewichts nöthig ist. Ein durch das diffuse Licht der Sonne heller Körper strahlt nämlich immer Licht, also nach jener Ansicht auch Wärme aus, ohne an seiner Temperatur oder der seiner Umgebung Etwas zu ändern; man musste daher annehmen, er empfänge eben so viel Wärme aus seiner Umgebung, als er derselben zustrahle. Dies müsste aber doch jedenfalls dunkle Wärme sein, da ja sonst jeder helle Körper immer heller werden müsste; und doch ist die dunkle Wärme von anderer Temperatur als die helle, oder wenigstens von anderer innerer Bewegung, kann also das Gleichgewicht nicht herstellen. Ausserdem strahlt ein heller Körper den ganzen Tag Licht in seine Umgebung; müsste also deren Temperatur nicht Abends ihr Maximum erreichen, während es umgekehrt überall Abends kühler wird! Doch, wie schon gesagt, wollen wir später auf diesen Gegenstand noch näher eingehen.

Die Stärke oder Intensität der strahlenden Wärme hängt nicht allein von dem Unterschied der Spannung des freien Aethers oder dem Wärmeunterschied zwischen dem strahlenden und dem bestrahlten Körper ab, sondern auch von dem Winkel, den die austretenden Strahlen mit der Oberfläche des ausstrahlenden Körpers machen oder, weil es so gebräuchlich ist, von dem Winkel, den sie mit dem Loth auf dieser Fläche bilden und den man Ausstrahlungswinkel nennt.



Die Aetheratome, welche schief aus der strahlenden Fläche zwischen den Körperatomen a und b , etwa in der Richtung ac austreten, können nicht auf so viel Aetherreihen stossen, als die in der Richtung af senkrecht austretenden, und zwar dort um so viel weniger, als die Linie ad kleiner ist, wie

ab ; das Verhältniss der Linie ad aber zur Linie ab wird durch den Cosinus des Winkels α gemessen. Daraus ergiebt sich das Leslie'sche Gesetz: Die Intensität der Wärmestrahlen ist proportional dem Cosinus des Ausstrahlwinkels.

Dieser von Leslie und Melloni scharf nachgewiesene, also unzweifelhafte Satz entfliesst ganz einfach unserer Stoffanschauung. Nimmt man nun an, dass die strahlende Wärme dem Licht identisch sei, also aus Aetherwellen bestehe, ob dunkeln oder hellen, ist hier einerlei, so muss man auch in jeder Erklärung bei den Principien der Wellentheorie stehen bleiben. Zu diesen gehört aber der Satz: Trifft eine Aetherwelle auf ein neues Medium, so sind die ersten Aetheratome desselben oder die letzten des alten Mediums die Mittelpunkte von neuen Wellen, welche sowohl in das alte, wie in das neue Mittel sich fortpflanzen. Dieser Satz ist von Huyghens an, in seiner geometrischen Deutung der Reflexions- und Brechungs-Erscheinungen des Lichtes, bis zu Cauchy und Redtenbacher herauf, angewandt worden, kann also nicht mit Fourier, um den obigen Satz zu erklären, plötzlich ausser Acht gelassen werden. Fourier kann nämlich den unwidersprechlichen Satz von Leslie mit jener Annahme nicht erklären; denn aus dieser folgt sofort, dass von allen Punkten der ersten Fläche des neuen Mediums nach allen Richtungen Wärmewellen gehen, also keine Richtung einen Nachtheil gegen die senkrechte hat. Er nimmt daher an, dass nicht nur die Oberfläche, sondern auch das Innere eines Körpers Wärme ausstrahle, was nicht nur auf den ersten Blick gewaltsam erscheint, sondern auch jener unvernichtbaren Annahme von Huyghens widerspricht. Was müsste das auch für ein unentwirrbarer Knäuel von Interferenz-Erscheinungen vor jeder leuchtenden Fläche sein, wenn nicht bloss die äussersten, sondern auch eine ganze Suite hinter ihr liegender Schichten Licht ausstrahlen würde? Wenn sonach die Fourier'sche Erklärung des Leslie'schen Gesetzes nicht ausreichen kann, so muss die Möglichkeit, dasselbe von dem Princip der Identität aus erklären zu können, bestritten werden.

Wir geben gerne zu, was der Versuch von Melloni¹ beweist, dass nicht bloss die äusserste Atomschichte, sondern auch tiefer liegende Schichten Wärme ausstrahlen; nach der Aetherlehre ist es

¹ Poggendorff's Annalen, Band 65.

nicht anders möglich, als dass die tieferen Aetheratome sich in Bewegung setzen, wenn die höheren fortfliegen sollen; allein von den Principien der Wellenlehre aus ist gerade diese Annahme unmöglich. Eine Wellenbewegung des Aethers kann und muss zwar auch im Innern des Körpers vorhanden sein, allein Mittelpunkte von den in das neue Medium übergehenden Wellen, oder Strahlen aussendende Punkte, sind nur auf der Oberfläche. Wie sollten auch die von innen herauskommenden Wellen die zahllosen Körperatome, die ihnen entgegenstehen, überleben können?

Wärme-Farbe oder Wärme-Art. — Ausstrahlung oder Emission.

§. 33. Nachdem wir gefunden haben, dass alle Körper Wärme ausstrahlen und die Intensität der gestrahlten Wärme von der Richtung der Strahlen gegen den strahlenden Körper abhängig ist, haben wir zunächst noch zu untersuchen, wie die Beschaffenheit der Wärmestrahlen mit der Beschaffenheit ihrer Quelle zusammenhängt. Wenn wir von der Beschaffenheit der Wärmestrahlen sprechen, so verstehen wir darunter nicht bloß die Temperatur oder Wärmehöhe derselben, welche von der Temperatur jedes einzelnen Strahles oder der Menge der in ihm stattfindenden Aetherstöße und von der Dichte der Strahlen oder der Zahl der gestossenen Aetherreihen abhängig ist, sondern noch einen andern Unterschied der Wärmestrahlen, den die Physiker einen Unterschied der Art oder der Farbe nennen. Die Wärme, die von verschiedenen Körpern unter verschiedenen Umständen ausgeht, unterscheidet sich nämlich nicht bloß durch die Temperatur, sondern, mit und ohne diesen Unterschied, in ihrem Verhalten gegen diejenigen Körper, auf welche sie fällt, um von ihnen zurückgeworfen, durchgelassen oder festgehalten zu werden. Gerade in der Art, wie sie zurückgeworfen, durchgelassen oder festgehalten wird, trat dieser Unterschied zuerst hervor. Und da auch die verschiedenen Lichtfarben sich in dieser Beziehung wesentlich unterscheiden, so nannte man die verschiedenen, einen ähnlichen Unterschied zeigenden Wärme-Arten entsprechend Wärmefarben.

Wir würden den Ausdruck „Wärme-Arten“, den wir der verdienstvollen Experimentalphysik von Wüllner entnehmen, vorziehen. Denn in der Stoffanschauung kann von Wärmefarben, die einer

verschiedenen Schwingungsgeschwindigkeit des Aethers entsprechen, natürlich nicht die Rede sein. Allerdings muss jedes Atom einer Aetherreihe oder eines Aetherstrahls eine unendlich kleine Bewegung voran machen, wenn das erste Atom dieser Reihe einen Stoss erhält und demgemäss das letzte fortgeschleudert wird. Da weiter ein Atom nur eine Bewegung in einer und derselben Zeit machen kann, so muss sich diese Längsbewegung desselben mit der Querschwingung, die bekanntermassen das Licht bildet, zu einer einzigen schiefen Bewegung zusammensetzen, in welcher dann Licht- und Wärmewirkung zusammen enthalten sein müssen. Wir könnten uns unsere Aufgabe in der Wärmestrahlung leicht machen und hier erklären, dass sämtliche Eigenschaften der Lichtstrahlen und ihre so geistvollen Erklärungen wegen jener Combination nun auch für die Wärmestrahlen gelten müssen. Jedenfalls sind auch dieser Combination eine grosse Anzahl der Analogieen zwischen Licht- und Wärmestrahlen zu verdanken, welche eben zu der Ansicht von der Identität beider geführt haben und auch wir werden von dieser innigen Verbindung jedenfalls einige Aufschlüsse von unserm Standpunkt aus zu erwarten haben; allein zur Identität kommen wir dadurch nicht. Denn nach dem Parallelogramm der Kräfte kann und muss die schiefe Bewegung bei vielen Anlässen wieder in ihre Bestandtheile zerlegt werden, und der eine Bestandtheil kann dann oft ein anderes Schicksal erfahren, als der andere. Ausserdem ist ja in der Aetherlehre nicht die Längsbewegung der Aetheratome, sondern die dadurch hervorgerufene Verdichtung des Aethers am Ende der Strahlen die Wärme, wenn auch hier sogleich betont werden muss, dass mit der Vernichtung dieser Längsbewegung, mit der Aenderung derselben, eine entsprechende Aufhebung, Veränderung der Wärmewirkung eintreten muss. Endlich können wir den Unterschied der Wärme-Arten nicht in der verschiedenen, sei es auch longitudinalen, Schwingungsgeschwindigkeit der Aetheratome suchen, denn diese begründet ja theilweise die Temperatur, sondern nur in dem Unterschied der Gruppierung der Wärmestrahlen gegen einander, in der Art und Weise, wie die Wärmestrahlen gegen einander liegen, und zwar entweder aller überhaupt vorhandenen Aetherreihen, wenn sämtliche in Stossbewegung begriffen sind, oder nur derjenigen, welche an ihrem Anfang von Aetheratomen getroffen wurden und darum allein eine innere Längsbewegung haben, während die nicht

getroffenen entweder ganz in Ruhe oder nur leise angestossen sein können, also nicht als Wärmestrahlen anzusehen sind. Die Schwingungs-Theorie erklärt eine Wärmefarbe für eine bestimmte Schwingungs-Geschwindigkeit des Aethers, die Aetherlehre eine Wärme-Art für eine bestimmte Gruppierung der wirksamen Aetherstrahlen.

Die Gruppierung der Strahlen steht jedenfalls im Zusammenhang mit der Dichte derselben; ist dieselbe Zahl von Strahlen dicht beisammen, so muss ihre Lagerung gegen einander eine andere sein, als wenn sie weit auseinander liegen. Da nun die Dichte der Strahlen ein Factor der Temperatur ist, so muss jedenfalls die Wärmefarbe im Zusammenhange mit der Temperatur stehen: eine andere Temperatur kann eine andere Wärme-Art erzeugen. Doch muss dies nicht der Fall sein, da bei gleicher Gruppierung durch die Vermehrung der Aetherstösse die Temperatur auch erhöht werden könnte. Ebenso muss eine Veränderung der Lagerung oder, was dasselbe ist, eine Veränderung der Wärmefarbe nicht immer eine Temperatur-Änderung zur Folge haben, aber in vielen Fällen muss auch dies der Fall sein, obwohl eine Änderung in der Dichte der Strahlen wieder durch eine gegentheilige in der Zahl der Aetherstösse hinsichtlich der Temperatur aufgehoben werden könnte. Man sieht leicht, dass nach der Aetherlehre die Mannigfaltigkeit der möglichen Erscheinungen eine sehr grosse sein muss und dass Gesetze hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Wärmefarbe schwerlich existiren werden. Und wirklich haben auch die feinsten Untersuchungen der gewiegtsten Experimental-Physiker einander widersprechende Gesetze zu Tage gefördert, weil die Forschungen derselben sich nur auf eine beschränkte Anzahl von Wärmequellen und Körpern erstreckten und die Resultate derselben als Gesetze ausgesprochen wurden.

So hat Knoblauch¹ Versuche angestellt, welche beweisen, dass die Wärmefarbe der aus bestimmten Stoffen gestrahlten Wärme nur von der Temperatur und nicht von der Natur des strahlenden Körpers abhängig ist, während De la Prevostaye und Desains² aus ihren Versuchen den Schluss zogen, verschiedene Körper müssten

¹ Poggendorff's Annalen, Band 70.

² Comptes rendus, Band 34.

bei gleicher Temperatur verschieden gefärbte Wärme, verschiedene Wärme-Arten ausstrahlen. Das Einzige, was aus der Aetherlehre sich mit Bestimmtheit ergibt, ist die Möglichkeit, ja die Wahrscheinlichkeit einer gleichzeitigen Aenderung der Wärme-Art und der Wärme-Höhe. Sicher aber ist der Draper'sche Satz¹: Alle Körper erglühen bei gleicher Temperatur; denn damit sie roth erscheinen, müssen sie die Aetheratome in 450 Billionen Schwingungen versetzen, also eine entsprechende Menge von Aetheratomen herausschleudern, wodurch eine bestimmte Temperatur entsteht.

Wir haben das innere Wesen, den Begriff der Wärme-Arten nach der Aetherlehre festzustellen gesucht. Bevor wir zu dem verschiedenen Verhalten derselben schreiten, müssen wir über ihre Entstehung ins Klare kommen: In jedem andern Körper ist die Lage der Molecüle oder Atome nothwendig eine andere; nur Körper von analoger chemischer Zusammensetzung und gleicher Krystallform, die sogenannten isomorphen Körper lassen der Vermuthung Spielraum, ihre Molecüle könnten eine ähnliche Lage gegen einander haben. Wenn nun ein Körper erwärmt ist, so strahlt er zwischen seinen Molecülen an der Oberfläche den Aether hinaus, so dass die vor diesen Lücken liegenden äusseren Aetherreihen getroffen werden, aber die vor den Molecülen liegenden ganz in Ruhe bleiben; die ersten sind in Wärmestrahlen verwandelt, die letzten aber nicht; dadurch haben die Wärmestrahlen jedenfalls eine eigenthümliche Gruppierung gegen einander, welche den Unterschied der Wärme-Farbe bedingt. Demnach müsste aber die Wärme-Farbe eine Function von der Natur der Körper sein, wogegen die Knoblauch'schen Versuche so entschieden sprechen. Folgern wir nicht so rasch. Nur bei der denkbar höchsten Temperatur, die ein Körper annehmen kann, werden die Zwischenräume der Molecüle ganz dicht mit austretenden Aetherreihen erfüllt sein und dann muss die Farbe der Wärme natürlich eine Function von der Lage der Molecüle sein; bei den isomorphen und innerlich ähnlichen Körpern müsste dann eine gleiche Wärmefarbe erzeugt werden. Je niedriger aber die Temperatur ist, desto weniger werden die austretenden Aetherstrahlen die Molecül-Zwischenräume ganz ausfüllen, so dass endlich nur einige wenige, vielleicht gar nur ein Strahl aus jedem Zwischenraum her-

¹ Philosophical Magazine, Band 30.

austritt; desto ähnlicher muss aber dann die Lagerung der Strahlen gegeneinander sein. Je niedriger die Temperatur ist, desto weniger Wärmefarben kann überhaupt ein Körper ausstrahlen und desto mehr sind die Wärmefarben verschiedener Körper einander gleich; je höher die Temperatur ist, desto mehr Wärmefarben, verschiedenartige Gruppierungen, muss ein Körper ausstrahlen und desto verschiedener sind die Wärmefarben verschiedener Körper. Sollte darin nicht die Wahrheit liegen? Erklärt sich damit nicht auch die Verschiedenheit der Resultate von Knoblauch und von De la Prevostaye und Desains, indem der erstere vielleicht vorwiegend mit schwach, die letzteren mit stark erhitzten Körpern experimentirten?

Es erübrigt uns nun noch, zu untersuchen, welchen Einfluss der ausstrahlende Körper auf die Temperatur der von ihm emittirten Wärmestrahlen übt. Je mehr die Abstossung des freien Aethers in der Wärmequelle die des Aethers der Umgebung überwiegt, um so mehr Aether muss in die letzte hineingeschleudert werden; die Intensität der strahlenden Wärme ist also von dem Temperaturüberschuss der Wärmequelle abhängig. Ist die Temperaturdifferenz nicht gross, so wird ein doppelt so grosser Ueberschuss der Dichte auch doppelt so viel Aether nach aussen treten lassen, weil hier die Menge des durch die höhere Temperatur gebunden wordenen Aethers ausser Betracht bleiben kann. Bei geringem Temperaturüberschuss der Wärmequelle ist also die Stärke der strahlenden Wärme dem Ueberschuss proportional. Ist aber die Temperaturdifferenz eine grosse, so besteht der Aetherüberschuss der Quelle nicht blos aus freiem Aether, sondern es ist dann durch die Aenderung der Atomzwischenräume, durch die Verdichtung des gebundenen Aethers, eine Menge der Wärme, die der heisse Körper mehr, als seine Umgebung hat, in gebundenen Aether verwandelt worden. Bei allmäliger Ausstrahlung wird dieser gebundene Aether frei und strahlt ebenfalls hinaus. Demnach muss bei grossem Temperaturüberschuss die Intensität der freigewordenen Wärme etwas mehr als eine dem Ueberschuss proportionale Grösse erreichen. Die Erhöhung der Intensität durch starke Differenz hängt aber von der Menge des gebundenen Aethers, also von der materiellen Beschaffen-

heit der Wärmequelle ab. Es hat also, wie De la Prevostaye und Desains gezeigt haben, jeder Körper sein eigenes Gesetz der Ausstrahlung.

Eine weitere Verschiedenheit der Körper, welche auf die Stärke der Strahlung wesentlichen Einfluss üben muss, ist die Beschaffenheit der Oberfläche. Sind die Körperatome weit von einander, so muss bei übrigens gleichen Umständen mehr Aether austreten, als wenn die Atome nur enge Lücken lassen; ebenso hängt die Menge des austretenden Aethers nothwendig von der Zahl dieser Lücken ab. Je lockerer also die Oberfläche eines Körpers ist, desto stärker ist seine Strahlung; wird die Oberfläche eines harten Körpers durch Ritzen oder Schleifen mit rauhem Schleifmittel vergrössert, ohne die Dichte der nicht angegriffenen Stellen entsprechend zu vergrössern, so muss ebenfalls die Stärke der Strahlung wachsen.

Ein Körper kann uns nun hart erscheinen, also festen Zusammenhang seiner Molecüle nach einer Richtung hin besitzen und doch können im Allgemeinen oder nach anderer Richtung die Atomzwischenräume gross sein. In diese Zwischenräume können die Lichtschwingungen des Aethers vollständig eindringen und der Körper muss uns schwarz erscheinen. Ein solcher Körper öffnet aber auch dem austretenden Aether Tausende von Kanälen in das neue Medium. In einem weissen Körper dagegen müssen die Atomzwischenräume so klein sein, dass keine Aetherschwingung hindringen kann und es müssen daher sämtliche Farben zurückgeworfen werden; ein solcher Körper bietet auch dem Aether nur wenig Raum zum Austritt. Schwarze Körper haben daher das grösste, weisse das geringste Strahlvermögen unter sonst gleichen Umständen.

Geschwindigkeit der strahlenden Wärme.

§. 34. Auf welche Weise der strahlende Körper von Einfluss auf die Beschaffenheit der Wärmestrahlen ist, haben wir im vorigen Paragraphen aus der Aetherlehre abzuleiten gesucht. Ehe wir nun die umgekehrte Aufgabe, das Verhalten der Wärmestrahlen zu anderen Körpern, in Betracht ziehen, stehen wir noch vor der Frage, wie die Wärmestrahlen sich fortpflanzen. Nach der Aetherlehre ist

überhaupt die Strahlung nur durch freien Aether möglich, also durch den leeren Raum, die Luft und Kanäle freien Aethers in festen und flüssigen Körpern. Dass in freiem Aether sich die Wärme nach allen Richtungen, in geraden Linien und im umgekehrten Verhältniss der Quadrate der Entfernung fortpflanzt, ist schon besprochen.

Ueber die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme im freien Aether ein Urtheil von vorneherein zu erhalten, würde nur dann möglich sein, wenn wir die Kraft der Abstossung im Aether und die Dichte desselben, also seine Elasticität genau kennen würden. Wir würden dann die Stossbewegung des Aethers mit den longitudinalen Schallschwingungen der Luft in Vergleichung setzen und aus der Geschwindigkeit der letzteren wohl zu einem Schluss über die erstere fortschreiten können. Da dies nicht möglich ist, so wird ein genaues Resultat unerfindbar sein und nur durch die Vergleichung der Stossbewegung mit den Querschwingungen des Aethers, welche das Licht bilden, eine ungefähre Abschätzung möglich werden. Die Fortpflanzung der lichtbildenden Querschwingungen hat man sich wohl auf die Weise zu denken, dass jedes Aetheratom mit den zahllosen Strahlen seiner Abstossung in diejenigen seiner Nachbaratome eingreift und sich so die Aetheratome in einander verflechten; geht nun das erste Aetheratom z. B. nach unten, so muss auch das vor ihm liegende, mit ihm verflochtene ebenfalls nach unten gezerrt werden. Wegen dieser Verflechtung der Abstossungstrahlen ineinander muss jede Bewegung des einen Atoms in demselben Augenblick eine gleiche Bewegung des andern Atoms nach sich ziehen. Am genauesten, sollte man glauben, müsste diese Gleichzeitigkeit der Bewegung eintreten, wenn ein Atom sich dem andern nähert, weil gerade dieser Näherung entgegen die inneren Kräfte der Atome wirken und jede Näherung eine Vergrösserung der Abstossung und daher eine sofortige Wiederentfernung der Atome von einander nach sich zieht. Könnte man darüber Genaueres wissen, so müsste man die Folgerung ziehen, dass die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme die des Lichtes noch überträfe, also das Gegentheil von den Versuchresultaten Wrede's, welche die Geschwindigkeit der Wärmestrahlen gleich $\frac{4}{5}$ derjenigen des Lichtes vermuthen lassen. Bedenkt man aber, dass auch in andern Körpern die Längsschwingungen gleiche Fortpflanzungs-Geschwindigkeit mit den Querschwingungen besitzen, so kann man weder eine schnellere, noch eine langsamere

Geschwindigkeit der strahlenden Wärme zulassen, sondern muss bei dem der gewöhnlichen Erfahrung entsprechenden Satze stehen bleiben: Licht und strahlende Wärme haben gleiche Geschwindigkeit.

Dies entspricht auch wohl am Besten dem Einfluss der Verflechtung der Abstossungstrahlen auf die Quer- und die Längsbewegung der Aetheratome, sowie der schon geschilderten innigen Verbindung der beiden Bewegungen zu einer schiefen in jedem einzelnen Atom.

Erwärmung durch Strahlen oder Absorption.

§. 35. Treffen nun in Stossbewegung befindliche freie Aetheratome auf einen Körper, so können folgende Unterschiede eintreten:

1. Die freien Aetheratome treffen an der Oberfläche des Körpers auf freien Aether, hinter welchem sich durch den ganzen Körper hindurch nur freier Aether befindet. Dann werden sie ihre Bewegung durch den Körper fortpflanzen, die Wärmestrahlen gehen durch denselben, der Körper ist diatherman.

2. Die freien Aetheratome treffen auf gebundenen Aether der ersten Atomschichte des Körpers, hinter welchem sich Körperatome befinden; dann werden sie von der stark elastischen Aetherhülle zurückgeworfen.

3. Die freien Aetheratome treffen auf freien Aether in der ersten Atomschichte des Körpers, hinter welchem gebundener Aether, Hüllenäther eines Körperatoms, steht; dann werden die Wärmestrahlen absorbirt.

Im letzten Falle nämlich muss zunächst der freie Aether der ersten Atomschichte sich vermehren oder verdichten. Diese Verdichtung muss wegen immer neu eintreffender Aetheratome sich auch auf den Hüllenäther des Molecüls, das gerade hinter dem getroffenen freien Aether liegt, fortpflanzen und dadurch auf den freien Aether der zweiten Molecülschichte, ebenso wie der gebundene Aether der Molecüle der ersten Atomschichte, welche neben dem zuerst getroffenen freien Aether liegen, sich verdichten muss. Denn wollte irgend eines dieser Molecüle die Aetheratome zurückwerfen, so würden diese von einem schief davor oder gerade gegenüber liegenden Molecül wieder vorangeworfen werden müssen.

Man sieht leicht, dass diese allgemeine Verdichtung allmählig fortschreitet und mit dem schon geschilderten Vorgang der Leitung der Wärme vollkommen übereinstimmt. Die eingetroffenen Wärmestrahlen werden allmählig in den Körper aufgenommen und bewirken dessen Erwärmung, sie werden festgehalten, absorbirt oder verschluckt. Es ist weiter leicht zu ersehen, dass die Wirkung dieser Strahlen weit hinter der Wirkung ihrer Quelle zurückbleiben muss, da sie durch die Entfernung verdünnt werden, da ein grosser Theil des eintreffenden Aethers zur Verdichtung der gebundenen Hüllen verwendet, also seiner Wirksamkeit als Wärme beraubt wird, so dass die Erwärmung durch Strahlung jedenfalls bedeutend hinter der Temperatur der Wärmequelle bleiben muss. Sehr stark wirkt zur Abschwächung des Erfolgs mit, dass ein grosser Theil der Aetheratome auf gebundenen oder Hüllenäther fällt, da doch die erste Atomschicht des Körpers viele Körperatome enthalten muss. Solcher Aether wird zurückgeworfen, bleibt also für die Erwärmung des Körpers ganz ohne Einfluss. Welcher Theil von den überhaupt eintreffenden Wärmestrahlen dieses Schicksal erfährt, hängt offenbar nur von der Zahl und Stellung der Körpermoleküle der ersten Schicht, also umgekehrt von der Zahl und Grösse der Zwischenräume ab. Von demselben Umstand aber ist auch die Menge der in den Körper eindringenden Wärmestrahlen direct abhängig. Also ist der Wärmeverlust sowohl, als die Menge der eintretenden Wärmestrahlen durch die Beschaffenheit der Oberfläche des bestrahlten Körpers bedingt, ganz von denselben Umständen, welche die Grösse der Ausstrahlung oder Emission bedingen. Daraus ergibt sich der Satz von Prevost: die Absorption eines Körpers ist seiner Emission gleich, d. h. unter übrigens gleichen Umständen. Die gestrahlte Wärme muss in beiden Fällen dieselbe Temperatur haben, was ohne weitere Erläuterung klar ist. Sie muss aber auch in beiden Fällen von derselben Farbe oder Art sein oder die Wärmestrahlen müssen dieselbe Gruppierung haben; denn kommt es z. B. in einer Wärmeart vor, dass die Gruppen der Strahlen durch grosse Zwischenräume getrennt sind, so wird von dieser Strahlung eine grosse Zahl von Atomzwischenräumen des bestrahlten Körpers nicht getroffen; hat dagegen dieselbe Zahl von Strahlen dieselbe Vertheilung gegeneinander, wie die Atomzwischenräume gegen einander liegen, so

werden diese alle getroffen und die Absorption muss bedeutend grösser sein.

Kirchhoff¹ hat diesen Satz, der durch Versuche nur für Strahlen weniger Gattungen, hauptsächlich für dunkle Strahlen gefunden worden ist, auf Grund der Wellentheorie mathematisch bewiesen und in folgender Form ausgesprochen: Sobald man nur unter Emissionsvermögen die Intensität der ausgesendeten Strahlen einer Gattung versteht und das Absorptionsvermögen auf Strahlen derselben Gattung bezieht, ist das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe. So interessant der von Kirchhoff auf Grund der Schwingungslehre geführte mathematische Beweis auch ist, so dürfen wir doch vielleicht darauf hinweisen, dass der Satz in grösserer Allgemeinheit mit höchster Einfachheit aus der Aetherlehre sich ergibt.

Aus dem Satz folgen sofort folgende Sätze:

1. Die Absorption oder Erwärmung eines Körpers durch Strahlung ist bei geringer Differenz zwischen der Temperatur der Strahlen und derjenigen des Körpers der Temperatur proportional.

2. Bei sehr grossem Temperaturüberschuss muss die Erwärmung des bestrahlten Körpers um so viel hinter dem Resultat des Satzes 1. zurückbleiben, als von dem eintretenden Aether gebunden wird.

3. Je lockerer die Oberfläche eines Körpers ist, desto mehr wird er durch Strahlung unter übrigens gleichen Umständen erwärmt.

4. Schwarze Körper haben unter allen farbigen Körpern das grösste, weisse das geringste Absorptionsvermögen bei gleicher Dichte, Härte und Lockerung der Oberfläche.

5. Verschiedene Körper haben für eine und dieselbe Wärme-Art ein verschiedenes Absorptionsvermögen. Denn die Gruppierung des freien Aethers in der äussersten Atomschichte des Körpers wird nur in einem sonderbaren Aus-

1 Kirchhoff, Poggendorff's Annalen, Band 109. S. 276.

nahmsfalle derjenigen der Wärmestrahlen gleich sein. Würden dann die Strahlengruppen gerade auf die Gruppen des freien Aethers zwischen den Körpermoleculen fallen, so würden alle Wärmestrahlen absorbirt werden. Ein solcher Fall wäre eine höchst merkwürdige Seltenheit. Im Allgemeinen hat jeder andere Körper in seiner obersten Molecülschichte eine andere Gruppierung. Daher muss gegen jeden andern Körper eine bestimmte Gruppe von Wärmestrahlen sich anders verhalten. — Umgekehrt muss jede andere Gruppe von Wärmestrahlen bei einem und demselben Körper eine andere Art der näheren oder ferneren Uebereinstimmung, der grösseren oder geringeren Verschiedenheit, mit der Gruppierung der äussersten Molecülschichte vorfinden und sich daher gegen jeden andern Körper anders verhalten. Also absorbirt ein und derselbe Körper verschiedene Wärmefarben in verschiedener Stärke.

6. Je geringer aber die Temperaturen sind, desto vereinzelter werden die Wärmestrahlen, desto eher ist also die Möglichkeit vorhanden, dass jeder Wärmestrahle eine Lücke zwischen den Moleculen, eine freie Aethermenge vor gebundenem Aether, trifft, desto näher also liegt die Möglichkeit, dass alle Wärmestrahlen absorbirt werden. Da auch die Gruppierungen der wirksamen Aetherreihen dann einander immer ähnlicher werden müssen, so werden auch die verschiedenen Wärme-Arten in immer mehr gleichem Masse aufgenommen werden. Bei niedrigen Temperaturen ist also die Absorption vollständiger und für verschiedene Wärmefarben nahezu gleich gross, sowohl bei einem Körper, als auch bei verschiedenen.

Da in der Aethertheorie die Wärmefarbe von der Temperatur und der Natur des strahlenden Körpers abhängig ist, also jeder Stoff von anderem inneren Gefüge anders gefärbte Wärme ausstrahlt, so ist die Wärmefarbe nicht so prägnant charakterisirt, wie es in der Schwingungstheorie der Fall ist, wo jede Wärmefarbe einer bestimmten Schwingungsgeschwindigkeit des Aethers gleich ist. Wir können daher auch nicht sagen, dass alle Körper ein bestimmtes Absorptions- und Emissions-Vermögen für eine bestimmte Wärmefarbe besitzen. Wäre dies so scharf der Fall, wie es nach der Schwingungstheorie sein müsste, da nach ihr die Wärmefarbe durchaus unabhängig vom strahlenden Körper ist, so hätten wir bei

dem ungeheuren Interesse, das die Frage über das Wesen der Wärme jedem Physiker einflösst, gewiss schon längst Resultate von Untersuchungen über die Frage, wie die Intensität der Wärmestrahlen sowohl, als auch die Stärke der Absorption für jede einzelne Wärmefarbe, oder wenigstens für bestimmte, etwa durch grosse Buchstaben, wie die Fraunhofer'schen Spectral-Linien, bezeichnete wärmende Spectralstellen, abhängig ist von der Temperatur, eine Frage, die ebenso anziehend für die mathematische Behandlung, wie für das Experiment ist. Dass darüber keine bestimmten Resultate bestehen, ist uns durchaus keine Folge davon, dass man noch keine gesucht hat, sondern wohl davon, dass man keine finden konnte. Dies wäre aber eine Entscheidung zu Gunsten der Aetherlehre.

Reflexion der strahlenden Wärme.

§. 36. Schon im vorigen Paragraphen fanden wir, dass die Aetheratome, welche direct auf gebundenen Aether, auf die Hüllen der äussersten Molecülschichte eines Körpers stossen, von derselben zurückgestossen werden, ohne dabei, wie die an der zweiten Schichte zurückgestossenen, die Möglichkeit eines Nachstosses zu haben. Sie treffen auf dichteren Aether, verhalten sich also ähnlich, wie eine elastische Kugel, die gegen eine feste Wand stösst: sie fliegen in einer solchen Richtung zurück, dass der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Es verhalten sich also die Wärmestrahlen hierin genau, wie die Lichtstrahlen. Alle Folgerungen, die sich aus dem Satz ergeben, gehören demnach der Aetherlehre ebenso gut an, als der Wellenlehre. So z. B. die grosse Wärmemenge, die in dem Brennpunkt von Hohlspiegeln angesammelt werden kann, weil in diesem die Richtungen sämmtlicher nach jenem Gesetz zurückgeworfenen Strahlen sich kreuzen, also hier grosse Aethermassen aufeinander treffen. Man könnte hier den Einwand erheben, dass solche dichten Aethermassen eine ungeheure Abstossung in sich tragen und sich daher selbst im Augenblick zerstreuen müssten. Das ist auch der Fall; man stelle sich nur in die Nähe eines solchen Brennpunktes, so wird man durch sein Gefühl schon überzeugt; man verrücke nur den Spiegel ein wenig oder bedecke die Wärmequelle für einen Moment, in dem-

selben Moment ist auch schon jede Wirkung in dem Brennpunkt zerstoßen.

Wegen dieser starken Abstossung der Aetheratome gegeneinander und dadurch verstärkt gegen die Erde kann eine noch so stark in einem Brennpunkt verdichtete Aethermasse doch kein Gewicht haben, wie zahlreiche Versuche schon früher zeigten, deren Resultat man auch als einen Beweis gegen die Materialität der Wärme ansah. Man vergass dabei, dass das Gewicht nur das Resultat einer gegenseitigen gleich starken Anziehung der Erde und des betreffenden Körpers ist; ebenso ist auch die Abstossung des Aethers gegen die Erde im gewöhnlichen Zustand ebensogross, als deren Anziehung, so dass Gleichgewicht, also kein Gewicht stattfinden muss.

Kehren wir indess zur Reflexion der Wärme zurück. Liegen die Körperatome einander so nahe, dass nur die hervorragendsten Stellen der kugeligen Aetherhüllen getroffen werden, so haben alle getroffenen Stellen gleiche Richtung; dies ist in noch stärkerem Masse der Fall, wenn die nach verschiedenen Richtungen jedenfalls meist verschieden langen Molecüle zusammengesetzter Körper ihre langen Flächen, und dadurch auch entsprechend lange Aetherhüllen nach aussen kehren. Werden nur diese Stellen von gleicher Richtung getroffen, so müssen parallel ankommende Strahlen unter derselben Richtung zurückgeworfen werden; Strahlen, die in einer gewissen Verbindung ankommen, müssen in derselben Verbindung zurückgeworfen werden: die Reflexion ist regelmässig.

Diese regelmässige Reflexion muss um so vollständiger eintreten, je dichter die Atome beisammen sind und je mehr die grösseren Molecülseiten nach aussen gekehrt sind, also je dichter und glatter ein Körper ist. Vollständig regelmässig kann die Reflexion aber selbst bei den dichtesten und glättesten Körpern nicht sein, höchstens für Wärme von sehr niedriger Temperatur und Vereinzelung der Wärmestrahlen, also der niedrigsten Wärmefarbe. Denn immer müssen die Wärmestrahlen, wenn sie einigermaßen zahlreich sind, auch andere Stellen der kugeligen oder ellipsoidischen Aetherhüllen treffen, als die erhabensten, und zwar um so mehr, je mehr die Aetherhüllen von einander entfernt sind, je rauher also die Körper-Oberfläche ist. Diese Strahlen müssen dann in andern Richtungen zurückgeworfen werden, als die von den äussersten Stellen, und

müssen nach sehr vielen Richtungen gehen, da die andern Stellen der Kugelhüllen die verschiedensten Richtungen haben. Die Wärme muss also von glatten Körpern wenig und von rauhen stark zerstreut oder diffundirt werden.

Bekanntlich ist ein Körper weiss, wenn er alle Farbenbestandtheile des auf ihn fallenden weissen Sonnenlichtes in gleichem Masse zurückwirft. Wärmeweiss würde demnach gemäss der gebräuchlichen Ausdrucksweise ein Körper sein, der alle Arten von Wärme in gleichem Masse zurückwirft, nach unserm Sinne ein Körper, der die Wärmestrahlen in derselben Gruppierung zurückwirft, wie sie auf ihn fallen. Da nun selbst die glättesten nichtmetallischen Körper grosse Molecülzwischenräume oder Poren haben, so müssen sie, weil die auffallenden Strahlen verschieden gerichtete Stellen treffen, die Strahlen in ganz anderer Gruppierung zurückwerfen, als sie auffallen. Nur die dichtesten Körper, die Metalle, können, weil die reflectirenden Stellen gleiche Richtung haben, die Strahlengruppen ohne bedeutende Veränderung zurückstrahlen. Die Metalle kommen also der Eigenschaft der Wärmeweisse am nächsten, erreichen sie aber nicht, wie Versuche von De la Prevostaye und Desains wieder gegen Knoblauch und Melloni beweisen und wie es auch nach der Aetherlehre nicht anders möglich ist. Wenn die Wellenlehre richtig wäre, so erscheint gegenüber der ungeheuren Masse lichtweisser Stoffe der gänzliche Mangel wärmeweisser Stoffe sehr auffallend. Ebenso auffallend ist auch der gänzliche Mangel wärmeschwarzer d. i. solcher Stoffe, welche gar keine Wärme diffundiren; nach der Aetherlehre kann es solche Stoffe nicht geben; denn selbst die leichtesten und lockersten Körper, wie Russ, haben doch noch eine grosse Zahl von Körperatomen, also von gebundenen Aetherhüllen, welche auffallende Aetheratome zurückwerfen müssen. Warum aber alle weissen Körper, die doch alle Sorten von leuchtenden Aetherschwingungen zurückwerfen, nun plötzlich die nicht leuchtenden behalten sollen, und warum alle schwarzen Körper, die sämtliche 350 Billionen Schwingungsarten des Lichtes in sich aufnehmen, nun die übrigen 350 Billionen von dunklen Wärmeschwingungsarten zurückwerfen sollen, wäre erst noch zu erklären.

Weisse Körper haben jedenfalls kleine Atomlücken, sonst würden die Aetherschwingungen des Lichtes in sie eintreten. Wegen dieser kleinen Atomlücken können sie nur wenig Wärme absorbiren,

müssen also viele von den auf sie fallenden Lichtstrahlen entweder regelmässig zurückwerfen oder zerstreuen, während bei schwarzen Körpern aus den entgegengesetzten Gründen auch das entgegengesetzte Resultat folgt. Dass Wärme von niedriger Temperatur und daher einfacher Gruppierung auch von weissen Körpern aufgenommen wird und dass dieselben daher die dunkeln Wärmestrahlen weniger gut diffundiren müssen, ist schon früher begründet worden.

Der Knoblauch'sche Satz: „Verschiedene Körper reflectiren die verschiedenen Wärmefarben in verschiedener Stärke“¹ ergiebt sich so direct als der Aetherlehre entsprechend, dass wir dem Leser die Ableitung überlassen können.

Die Durchstrahlbarkeit oder Diathermanität.

§. 37. Wenn die Aetheratome eines Wärmestrahls auf den freien Aether eines Körpers treffen und auf den freien Aether der ersten Atomschicht auch freier Aether in den folgenden Schichten folgt und niemals gebundener Aether, so dass die freien Aetheratome einen geradlinigen Aetherkanal von gleicher Dichte durch den ganzen Körper hindurch bilden, dann wird die stossende Bewegung sich durch diesen freien Aether eines solchen Kanals fortpflanzen, wie durch den leeren Raum: es wird der Wärmestahl durch den Körper und auf der andern Seite desselben in der vorigen Weise weiter gehen. Diese Bedingung der Durchstrahlbarkeit oder Diathermanität eines Körpers ist am vollkommensten erfüllt in den Luftarten, weil bei diesen die Menge des gebundenen Aethers gegen die des freien verschwindet; sie kann auch im Allgemeinen bei den flüssigen Körpern eintreten, als bei den festen, weil bei den ersteren die Entfernung der gebundenen Aetherhüllen von einander eine grössere ist; allein sie kann doch in den flüssigen Körpern, da deren Molecüle nicht eine feste, bestimmte Lage gegeneinander haben, sondern in allen Richtungen in gleicher Weise vorhanden sind, nur erfüllt sein, wenn die zu durchstrahlende Schicht sehr dünn ist. Luftarten sind also absolut, Flüssigkeiten nur in dünnen Schichten diatherman.

¹ Poggendorff's Annalen, Band 71.

Sehr dünne Schichten aller festen Körper können einige Durchstrahlbarkeit für Wärme haben; dickere Schichten fester Körper können aber der angeführten Bedingung nur dann genügen, wenn die Molecüle so gelagert sind, dass sie lange Reihen bilden, zwischen welchen fadenförmige Kanäle bleiben, in denen die Reihen der freien Aetheratome liegen. Daraus erklärt sich sofort die verhältnissmässige Seltenheit der durchstrahlbaren festen Körper, sowie die Thatsache, dass Steinsalz und Flussspath mit ihrem würfelförmigen inneren Gefüge und der Kalkspath mit rhomboëdrischen, also dem Würfel ähnlichen Kernformen, die grösste Durchstrahlbarkeit zeigen, während der Alaun, dessen Grundform das Oktaeder ist, allerdings eine solche Struktur haben kann, dass in einzelnen Richtungen Aetherkanäle frei sind und daher manchmal eine Durchstrahlung bei ihm möglich ist, und während endlich Gips und Eis, die ein Nadelgewirre darstellen, nur schwache Diathermanität besitzen; denn der Gips krystallisirt im klinorhombischen System und wird leicht zu dünnen und langen Säulen, sowie er noch häufiger in Säulen von ausserordentlich dünnen Dimensionen, im Faser-gips, auftritt, so dass wir als seine Kernform, als Form seiner Molecüle, wohl eine lange Säule ansehen dürfen. Ebenso besteht das Eis aus zusammengefrornen Eisnadeln, die zwar dem hexagonalen System angehören können, deren Dimensionen aber in der Richtung der Hauptachse offenbar bedeutend die andern überwiegen müssen.

Dem amorphen Glas kommt in der chemischen Zusammensetzung, abgesehen vom Wassergehalt, wohl der Apophyllit oder Ichthyophthalm am nächsten; wenn das Glas auch, wie sich hieraus vermuthen lässt, die quadratische Säule als Kernform, als Form seiner Molecüle, besitzt, so lässt sich hieraus erklären, dass es in der Diathermanität zwischen dem Eis und dem Steinsalz ungefähr in der Mitte steht.

Die Durchstrahlbarkeit eines Körpers im Allgemeinen ist also von seinem Gefüge abhängig; je weniger Flächen die Kernformen haben und je mehr diese Flächen einander parallel sind, desto grösser ist die Diathermanität eines Körpers. Ob dieser Satz richtig ist, muss an noch nicht untersuchten Körpern sich herausstellen. Wenn er richtig ist, so muss ein und derselbe Körper, wenn seine Kern-

formen nicht gerade würfelig oder rhomboëdrisch sind, in verschiedenen Richtungen eine verschiedene Diathermanität besitzen. Das scheinen auch wirklich einige Resultate, die von gewiegten Experimentatoren herrühren, zu bestätigen. Während z. B. Steinsalz von 100 Strahlen einer Lampe 92 durchlässt, lässt nach Versuchen von Melloni¹ Glas deren 39 und Alaun nur 6 durch; nach Versuchen von Masson und Jamin² aber lässt Glas ungefähr 90 helle und 40 dunkle von 200, also 65 von 100 Sonnenwärme-Strahlen im Durchschnitt durch sich gehen; beim Alaun wird der Unterschied noch stärker; denn derselbe lässt nach Versuchen derselben Physiker von 100 hellen 90 und von 100 dunkeln 20 durch, also im Mittel 55. Wenn man nun nicht annehmen will, dass die Untersuchungen nicht genau wären, so lässt sich nur voraussetzen, dass in den zwei verschiedenen Versuchsreihen Glas und Alaun von verschiedenen Richtungen durchstrahlt wurden, also die Körper in verschiedenen Richtungen verschiedene Durchstrahlbarkeit besitzen. Man könnte den Einwand hier erheben, dass die betreffenden Versuche sich auf verschiedene Wärmequellen beziehen, in welchen die hellen und dunkeln Strahlen in verschiedener Weise gemischt sind; aber die Berücksichtigung dieses Umstandes würde die obigen Zahlen, auf welche wir später noch einmal zurückkommen müssen, nur wenig ändern. Wenn der letzte Satz richtig wäre, so wäre dies ein starker Beweis für die Aetherlehre und gegen die Schwingungstheorie; denn nach dieser ist kein Grund denkbar, aus welchem die Strahlung nach verschiedenen Richtungen verschieden sein könnte.

Die Körper von grösster Durchstrahlbarkeit, also von dem regelmässigsten Gefüge, müssen diese Eigenschaften in demselben Masse besitzen, ob dicke oder dünne Schichten von ihnen angewandt werden. Körper, deren Gefüge aber weniger regelmässig ist, die also geringere Diathermanität besitzen, werden den Einfluss dieser Unregelmässigkeit um so mehr geltend machen, je dickere Schichten durchstrahlt werden müssen. Im ersten Falle haben die durchlaufenden Strahlen durchaus keinen Einfluss auf die Wärme des Körpers, da die Aetheratome eines Kanals nur für einen Moment

¹ Poggendorff's Annalen, Bände 24, 27, 28, 35.

² Comptes rendus, Band 31.

in Stossbewegung sind, an jeder Stelle also für einen Moment sich verdichten, aber sofort wieder in ihre vorige Dichte zurückkehren. Im zweiten Falle dagegen, wo Aetherkanäle unterwegs, am Allgemeinen mit schiefen Flächen im Innern des Körpers enden oder eine andere Richtung einschlagen, müssen die Aetheratome reflectirt werden, ohne, wegen schiefer Richtung oder wegen neu nachkommenden Aetheratomen, ganz zurückkehren zu können; sie müssen also im Körper bleiben, dessen Aether verdichten, die Temperatur erhöhen. Je weniger Strahlen durch den Körper gehen, um so mehr muss er demnach erwärmt werden. Die Absorption wächst, wenn die Durchstrahlbarkeit abnimmt und umgekehrt.

Im Allgemeinen gehen auf diese Weise durch Absorption oder auch durch Reflexion an der vorderen oder hinteren Fläche des durchstrahlten Körpers Wärmestrahlen verloren, mehr oder minder. Daraus folgt sofort, dass auf der andern Seite des durchstrahlten Körpers die wirksamen Aetherfäden eine andere und zwar meist stark veränderte Lage gegeneinander, eine andere Gruppierung haben müssen, als auf der Eintrittseite der Strahlen: die Durchstrahlung ändert im Allgemeinen die Wärmefarbe. Hat z. B. der durchstrahlte Körper nur wenige der erwähnten Aetherkanäle, so wird die aus ihm heraustretende Strahlengruppe nur wenig Wärmestrahlen enthalten. In dem einen Körper können die Aetherkanäle einen grossen, in dem andern einen viel kleineren Querschnitt haben, so dass aus dem einen vielstrahlige Einzelbündel, aus einem andern nur einzelne Strahlen kommen. Die Querschnitte der Aetherkanäle können verschieden sein, wie ihre Grösse, und die Kanäle selbst können wieder alle einander gleich oder verschieden an Querschnitt sein, so wie sie gegeneinander in der verschiedensten Lage sich befinden können. Durch alle diese Verschiedenheiten muss die Wärme einer und derselben Quelle, und wenn dieselbe eine unendliche Anzahl dicht nebeneinanderliegender Strahlen nach einem Körper senden würde, in der verschiedensten Art, in der verschiedensten Farbe aus verschiedenen Körpern treten. Nur die durchstrahlbarsten Körper, welche der herbeikommenden Wärme ja nur durch Reflexion an der Eintrittsfläche einen geringen Verlust beibringen, lassen alle übrigen Strahlen durch, ändern also die Wärmefarbe nur wenig.

Denselben Einfluss nun, welchen ein durchstrahlter Körper auf die Farbe der aus ihm tretenden Wärme hat, müssen auch schon die Wärmequellen meistens selbst ausüben. Aus jeder andern Wärmequelle muss eine andere Wärme-Art oder eine andere Mischung mehrerer Wärmearten austreten. Denn die Wärmequellen sind oder enthalten meistens feste Körper, die hier denselben Einfluss üben müssen, wie in dem Falle, wo sie durchstrahlt werden. Ausnahmen bilden nur die Wärmequellen der reinen Gasflammenströme, wie die Knallgas- oder Wasserstoffgas-Flamme, die Flamme des Bunsen'schen Gasbrenners, die Flamme von reinem Alkohol u. dgl.

In diesen Flammen finden sich keine Theilchen fester Körper, sondern nur Gasatome, d. i. sehr weit von einander entfernte Körperatome. Desshalb können aus einer solchen Flamme nach allen nur möglichen Richtungen, ganz dicht nebeneinander, nur an seltenen Stellen durch ein Körperatom unterbrochen, Aethermassen auseinander fliegen. In einer solchen, wenig unterbrochenen, ganz dicht zusammenhängenden, überall wirksamen Masse von Aetherstrahlen, welche uns zugleich die grosse Hitze dieser Flammen erklärt, sind aber alle nur möglichen lockeren Gruppierungen von Aetherstrahlen, alle nur denkbaren Wärme-Arten enthalten. In den reinen farblosen Gasflammenströmen sind alle Wärme-Farben enthalten. Dieser Satz hat etwas Widersprechendes; doch möge man sich erinnern, dass der Ausdruck Wärme-Farbe nicht von uns herrührt, überhaupt der Aetherlehre gar nicht entspricht und nur beibehalten wurde, um den Leser nicht mit zu viel Neuem zu ermüden. Der Satz widerspricht auch der Schwingungstheorie vollkommen; denn nach dieser kann eine dunkle Flamme nur dunkle und keine farbigen Strahlen enthalten, worauf wir bei der Besprechung der Schwingungstheorie zurückkommen müssen. Wir finden auch nirgends Untersuchungen über diese dunklen Flammen, können also nicht sagen, ob unser neuer Satz durch die Erfahrung bestätigt oder widerlegt wird. Wäre das erste der Fall, so wäre dies ein grosser Triumph für die Aetherlehre, im letzten Falle müssten wir uns freilich gefangen geben und wenigstens die Uebereinstimmung der Wärme-Art der Aetherlehre mit der Wärme-Farbe der Wellenlehre fallen lassen. Man könnte uns freilich fragen, warum wir nicht selber durch Versuche

uns Gewissheit über den betreffenden Satz zu verschaffen suchten; allein wer die Lage der Lehrer an Mittelschulen kennt, weiss, wie wenig Zeit ihnen zum Experimentiren bleibt. Ausserdem aber haben die meisten Mittelschulen zu wenig Mittel für wissenschaftliche Versuche. Wenn dies nun auch hier besser ist, so wird doch unser physikalisches Cabinet erst seit 15 Jahren durch jährliche Credite zusammengebracht; daher ist unser Melloni'scher Apparat erst in Arbeit; und bis wir alles Zugehör haben, kann noch lange Zeit vergehen. Deshalb müssen wir einstweilen der Zukunft die Entscheidung überlassen, ob unser Satz richtig ist. Doch wäre mit dem Nachweise seiner Unrichtigkeit nicht etwa die ganze Aetherlehre, sondern nur unsere Aufnahme des Begriffes „Wärmefarbe“ unrichtig.

Schweben in einer Flamme kleine Theilchen fester Körper, so dass durch die Gluth derselben der Flamme eine lebhaftere Farbe ertheilt wird, so ist die Menge der Körperatome und Atomgruppen schon bedeutend grösser; von allen diesen werden aber die austretenden Aethermassen zurückgeworfen, so dass hinter ihnen keine wirksamen Aetherfäden, keine Wärmestrahlen sein können. Doch ist im Verhältniss zu dem ganzen ätheraussendenden Raum der Raum dieser Körperatome nur ein geringer; daher werden auch in den nach allen Richtungen sich ergiessenden Wärmestrahlenmassen nur verhältnissmässig wenige fehlen. In den leuchtenden Flammen ist also die Zahl der Wärmearten geringer, als in den dunkeln; doch können von allen erdenklichen Wärmearten nicht viele fehlen.

In einem glühenden Körper, z. B. in einer glühenden Platinspirale, ist zwar die Zahl der austretenden Aetheratome noch ausserordentlich gross; allein eine grosse Menge von Körpermoleculen nimmt den grössten Theil des Raumes weg, durch welchen die Aetheratome ihren Ausweg ins Freie finden können. Es müssen daher zwischen den wirksamen Aetherfäden, die auf der Austrittseite des glühenden Körpers erschienen und vorhanden sind, sich viele vollkommen in Ruhe befindliche Aetherstrahlen befinden. Daher kann die Zahl der Aethergruppierungen, die in der austretenden Strahlenmasse enthalten ist, nicht so gross sein, als bei den Flammen. Glühende Körper senden weniger Wärmefarben aus, als Flammen.

Noch geringer muss die Zahl der austretenden Aetheratome, also auch der wirksamen Aetherstrahlen sein, wenn derselbe Körper, den wir eben als glühend ins Auge gefasst haben, nur warm ist. In einer geringen Menge von Strahlen kann aber auch nur eine kleine Anzahl von denkbaren Gruppierungen der Strahlen gegen einander enthalten sein. Müsste nun die ohnedies schon geringe Anzahl von Gruppen, die durch die Erwärmung eines Körpers aus demselben treten kann, noch durch einen andern Körper von anderm Stoff, also auch von anderm inneren Gefüge gehen, so muss die Zahl der Gruppen noch mehr vermindert werden. So ergibt sich der Satz: Durch einen mittelst einer Flamme erhitzten Körper, z. B. das beliebte Kupferblech, strahlen weniger Wärmefarben aus, als aus demselben Körper im glühenden Zustande. Am allerwenigsten Wärmefarben strahlen Körperplatten aus, welche von warmem Wasser hinter ihnen erwärmt werden, z. B. die Seiten des bekannten Leslie'schen Würfels.

Fallen nun die Wärmestrahlen dieser verschiedenen Wärmequellen auf durchstrahlbare oder diathermane Körper, so werden alle Wärmefarben nur dann durch dieselben gehen, wenn die Aetherkanäle des betreffenden Körpers dieselbe Gruppierung gegen einander haben, wie die Wärmestrahlen der Quelle. Im Allgemeinen kann dies nicht der Fall sein; nur wenn ein Bündel von Wärmestrahlen schon durch einen bestimmten Körper gegangen ist, dann hat es dieselbe Gruppierung, wie die Aetherfäden desselben; fällt nun dieses Bündel anders gruppirter Strahlen noch einmal auf ein ähnlich präparirtes und in derselben Richtung herausgeschnittenes Stück desselben Körpers, so muss die Lage der wirksamen Aetherfäden gegen einander dieselbe sein, wie die Lage der Aetherkanäle in dem Körper; es wird daher jeder Aetherstrahl ungehindert weiter durch den Körper gehen. Wiederholte Strahlungen durch denselben Stoff ändern die Wärmefarbe nicht und schwächen die Wärmemenge nicht.

Nur ein Stoff, dessen Körperformen Würfel sind, kann zahllose parallele Aetherkanäle darbieten, so gut, wie die Luft; daher strahlen durch Steinsalz die Strahlen aller Quellen fast ungeschwächt; hat ein Körper auch andere Kernformen, wie z. B. der Flussspath Würfel und Oktaeder, oder hat er nur wenige Aetherkanäle, wie Gips und

Eis, so muss er zwar Strahlen von Flammen, die alle nur möglichen Wärmefarben enthalten, hindurchlassen, weil unter allen nur möglichen Gruppierungen sich jedenfalls auch die seiner eigenen Aetherkanäle findet, aber die Strahlen von anderen Wärmequellen kann er nur um so weniger durchlassen, je weniger Gruppierungen, je weniger Farben dieselbe aussendet; denn um so geringer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine dieser wenigen Gruppierungen von Strahlen mit der Gruppierung der Aetherkanäle des Körpers übereinstimmt. Diathermane Körper lassen also Strahlen von allen Flammen durch, weniger von glühenden, noch weniger von dunkel erhitzten Körpern, am wenigsten vom Leslie'schen Würfel.

Doch können nicht alle diathermanen Körper die Flammenwärme in gleicher Menge durchlassen; je geringer die Menge ihrer geradlinigen Aetherkanäle, desto geringer ist die Menge der durchgelassenen Strahlen. Je geringer auch die Menge dieser Flammenwärmestrahlen ist, die ein Körper durch sich lässt, um so geringer noch muss natürlich auch die Zahl der durchgelassenen Strahlen jener Quellen sein, die nur wenige oder gar nur eine Wärmefarbe aussenden. Wir finden daher in den interessanten Resultaten Melloni's, dass z. B. der klarste farblose Zucker, das reinste Eis keine Strahlen des glühenden Platins, des erhitzten Kupferblechs, des Leslie'schen Würfels durchlassen, dass überhaupt Strahlen der letzten Quelle nur durch das Steinsalz und den Flussspath und sonst durch keinen Körper gehen. Denn ist die Gruppierung der Strahlen einer Quelle eine ganz andere, als die der Aetherkanäle eines Körpers, so könnte nur durch Zufall einmal ein Strahl auf einen Aetherkanal treffen, und könnten daher auf der Austrittseite ein oder einige wirksame Aetherfäden vorhanden sein, die aber bloss auf einen oder einige Punkte wirken können und daher auch der feinsten Beobachtung entgehen müssen. —

Auch hier ist die Menge der möglichen Erscheinungen sehr gross; der einzige allgemeine Satz, welcher unseren Betrachtungen über die Durchstrahlung im Allgemeinen entfließt, dürfte folgender sein: Die Menge der durchstrahlenden Wärme ändert sich bei einem und demselben Körper mit der Wärmequelle und bei einer und derselben Wärmequelle mit dem durchstrahlten Körper.

Sonnenwärme und Sonnenlicht.

§. 38. Bisher geschah der wichtigsten Wärmequelle, der Sonne, hinsichtlich der Diathermansie ihrer Strahlen noch keine Erwähnung, weil wir diesen Gegenstand eigener Betrachtung unterziehen wollten. Den Schlüssel zu derselben bieten uns die Resultate der spectral-analytischen Untersuchung der Sonne von Kirchhoff, wodurch wir erfahren, dass die Sonnenatmosphäre Körper in Dampfgestalt enthält, die auf der Erde nur fest oder durch sehr grosse Hitze flüssig vorkommen. Daraus folgt, dass die Hülle der Sonne ein Meer von glühenden Gasen sein muss, dass also die Sonne zu den Wärmequellen der ersten Art gehört. Demnach muss sie auch Wärme von allen Arten, alle nur möglichen Wärmefarben aussenden. Dies zeigt sich durch das Experiment als richtig, indem Sonnenwärme durch alle nur möglichen diathermanen Körper geht, so verschieden auch ihr inneres Gefüge, also die Gruppierung ihrer Aetherkanäle sein möge. Wegen dieser Verschiedenheit muss jeder andere diathermane Körper eine andere Wärmefarbe durchlassen, so dass die Menge der von verschiedenen Körpern durchgelassenen Wärme sehr verschieden ist.

In enger Verbindung steht die Sonnenwärme mit dem Sonnenlicht. Die Untersuchungen aller Physiker zogen immer beide gemeinschaftlich in Betracht; auch nach der Stoffanschauung stehen beide in der innigsten Verbindung, indem die wärmebildende Stossbewegung des Aethers längs des Strahls mit der lichtbildenden, zum Strahl senkrechten, Schwingung zu einer schiefen Bewegung combinirt sein muss.

Wir haben daher an einige Eigenthümlichkeiten des Sonnenlichtes hier zu erinnern. Bekanntermassen besteht ein Sonnenstrahl aus 350 Billionen verschiedenen Farbestufen, welche sich in 7 Hauptabtheilungen, die bekannten sieben Regenbogenfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indig, Violett, zusammenfassen lassen und sich durch die Zahl ihrer Aetherschwingungen in einer Secunde von einander unterscheiden. Während nämlich die erste rothe Farbestufe aus 450 Billionen Aetherschwingungen besteht, vollbringt die letzte violette 800 Billionen in einer Secunde. Berechnung wie Versuch ergeben nun, dass bei dem Gang durch ein winkelig geschliffenes Glas, ein Prisma, von allen Farbestufen, welche ja

sammt und sonders bei diesem Durchgang von ihrer Richtung abgelenkt oder gebrochen werden, die aus den wenigsten Schwingungen bestehende, also die rothe, am wenigsten gebrochen wird und daher der Richtung des ursprünglichen Strahles am nächsten liegt, während alle folgenden um so stärker gebrochen werden, aus je mehr Schwingungen sie bestehen; demnach wird der violette Strahlbestandtheil am stärksten gebrochen. Diese verschiedene Stärke der Brechung hat eben nothwendig den Erfolg der Farbenzerlegung. Fängt man die aus dem Prisma tretenden Strahlen mit einer Tafel auf, so erhält man auf dieser das optische Farbenbild des Sonnenstrahls oder dessen Spectrum. Wenn es nun auch noch Aetherschwingungen gibt, die weniger als 450 Billionen und mehr als 800 Billionen in einer Secunde betragen, so müssen nach der mathematischen Theorie des Lichtes die ersteren in dem Farbenbild vor dem Roth, die letzteren jenseits des Violett eintreffen; man nennt daher die ersteren *vorrothe*, die letzteren *überviolette* oder *ultraviolette* Strahlen. Dieselben bringen keinen Eindruck auf das Auge hervor, weil sie nach den Untersuchungen von Knoblauch und von Brücke nicht im Stande sind, die Häute und Flüssigkeiten der Augen zu durchdringen. Doch ohne Wirkung sind wenigstens die übervioletten Bestandtheile eines Sonnenstrahls nicht; sie vermitteln nämlich die chemischen Thätigkeiten des Lichtes, wie z. B. die Zersetzung der Kohlensäure in der Luft durch die Pflanzenblätter. Wie weit diese Wirkung der ultravioletten Strahlen im Spectrum sich erstreckt, bis zu welcher Anzahl von Schwingungen es also die Aetheratome bringen können, darüber sind mir keine Versuchresultate bekannt. Zahlreicher dagegen sind die Versuche, die man zur Ergründung der Eigenschaften der vorrothen Strahlenbestandtheile gemacht hat. Man fand, dass bei manchen Prismen, z. B. von Glas, von Steinsalz, diese vorrothen Strahlen eine erwärmende Wirkung ausüben. Allerdings ist diese Wirkung durchaus nicht so constant, wie die Wirkung des Lichtes innerhalb des farbigen Theiles des Spectrums, wo immer dieselben Farben in demselben Verhältniss der Breite und Stärke zu einander auftreten, von welcher Beschaffenheit, von welchem Stoffe auch das Prisma sein möge; im Gegentheil zeigte sich bei einigen Prismen die erwärmende Wirkung nur in einem kleinen Theile des vorrothen Spectrums, bei andern war dieser Theil so gross, wie das farbige Spectrum, wieder bei andern verschwand die

erwärmende Wirkung dieses Spectraltheiles ganz; dann lag bei jedem andern Prisma die stärkste Wärmewirkung an einer andern Stelle. Trotzdem (und man wusste diese Verschiedenheiten zu erklären) nahm man an, dass diese vorrothen Strahlen des Sonnenlichtes der Hauptsache nach die strahlende Wärme bildeten, Ampère meinte sogar, sie stellten dieselbe ausschliesslich dar. Da man aber fand, dass auch die farbigen Stellen des Sonnenspectrums eine Wärmewirkung zu äussern im Stande waren, da man überhaupt leuchtende Wärme nicht zu läugnen vermochte, so stellte man die Ansicht auf, dass alle Aetherschwingungen innerhalb gewisser Grenzen wärmeerzeugend wirken.

Es liegt uns nun an dieser Stelle die Untersuchung der Frage ob, wie Licht und Wärme der Sonne nach der Stoffanschauung sich bei der Durchstrahlung zu einander verhalten. Die Resultate der Untersuchung müssen dann auch für Wärmequellen von derselben Art oder Arten-Mischung, wie die Sonne, gelten.

In Beziehung zum Licht nennen wir durchsichtig diejenigen Körper, welche den Aetherschwingungen Eintritt gestatten und dieselben in ihrem Innern nicht zerstören oder umwandeln. Durchsichtig können daher nur solche Körper sein, deren Molecüle an der Eintrittfläche verhältnissmässig grosse Zwischenräume übrig lassen und dieselben auch durch das ganze Innere erhalten, so dass die zum Strahl senkrechten Aetherschwingungen des Lichtes eintreten und sich durch den Körper fortpflanzen können, ohne an den Wänden solcher Aetherkanäle durch den Widerstand derselben vernichtet zu werden. Das ist aber auch die Bedingung der Diathermanität. Durchsichtige Körper müssen also auch diatherman sein. Doch müssen in gleichem Grade durchsichtige Körper durchaus nicht in gleichem Grade diatherman auftreten. Wir wissen ja schon, dass die Diathermanität durchaus nicht blos von dem Gefüge des durchstrahlten Körpers, sondern auch von der Art der auffallenden Wärme abhängt, dass die diathermansten Körper, wie Steinsalz, alle Wärmefarben durchlassen und fast in gleichem Masse, während andere, wie Eis, nur für Strahlen der reichsten Wärmequellen, sogenannte leuchtende Strahlen, durchdringlich, für Strahlen armer Quellen, sogenannte dunkle Wärmestraahlen aber adiatherman sind. Demnach müssen auch die durchsichtigen Körper in dieser Beziehung die grössten Verschiedenheiten zeigen. Der eine muss allen Wärme-

strahlen, selbst von der verwickeltsten Gruppierung, den Durchgang gestatten, andere lassen von reichen Wärmequellen nur wenige Strahlen durch, die meisten aber lassen gerade den einfachsten Gruppierungen keinen Ausweg.

Wenn fest steht, dass durchsichtige Körper diatherman sein müssen, so ist damit der Gegensatz, dass undurchsichtige Körper adiatherman, für Wärme undurchdringlich sein müssen, durchaus nicht behauptet. Denn die breite Querschwingung des Lichtes kann durch den Widerstand der Seitenwände eines Aetherkanals vernichtet werden, ohne dass die Längsschwingung auch sofort durchaus erloschen sein müsste. Doch wird die Erhaltung derselben wegen der unbestreitbaren Mangelhaftigkeit der Aetherkanäle wohl nicht häufig sein und keinesfalls durch dicke Schichten hindurch anhalten können. Es kann daher undurchsichtige Körper geben, welche, entweder von lockerer Beschaffenheit, wie Russ, oder mit rechteckigen, aber vielfach versperrten Aetherkanälen, wie schwarzes Glas, in sehr dünnen Schichten im Stande sind, der Längsstossbewegung des Aethers den Durchgang zu gestatten. Doch kann dies jedenfalls nur an einzelnen Stellen geschehen, wo die Lagerung der Molecüle Kanäle offen lässt. Es muss dann auch einerlei sein, ob auf diesen Körper eine ungeheure Menge von Strahlen, also Wärme von den ersten Quellenarten, oder nur eine dünnere Menge, also dunkle Wärme, trifft; in allen Fällen kann durch den undurchsichtigen Körper nur eine geringe Zahl, also eine niedrige, einfache Gruppierung von Aetherstrahlen treten. Daraus folgt ganz einfach der Satz: Undurchsichtige Körper lassen nur dunkle Wärmestraahlen durch, während durchsichtige im Allgemeinen sowohl der leuchtenden, als der dunklen Wärme den Durchgang gestatten, der ersten aber in grösserer Menge und grösserer Allgemeinheit.

Zwischen den undurchsichtigen Körpern und den gewöhnlich kurzweg durchsichtig, besser aber farblos oder wasserhell durchsichtig genannten Körpern stehen in der Mitte die farbig durchsichtigen Körper, welche nur einer einzigen bestimmten Farbe oder einem bestimmten Farbgemisch den Durchtritt gestatten. Es kann dies nur daher kommen, dass die nicht durchgelassenen Farbenstrahlen im Innern des Körpers vernichtet, d. h. um nicht falsch verstanden zu werden, in Bewegung der Körperatome umgesetzt werden. Vernichtet z. B. ein Körper die grünen Aetherschwingungen, so tritt

auf seiner andern Seite ein Gemisch der übrigen 6 Sonnenfarben auf, die mit einander Roth, ein heterogenes Roth, geben; vernichtet er aber alle Farben, mit Ausnahme des Roth, so tritt auf der andern Seite dieses homogene Roth aus. Wenn nun die lichtbildende Querbewegung eines Aetheratoms vernichtet wird, so wird im Allgemeinen die wärmebildende Längsbewegung des Atoms demselben Schicksal unterliegen, da die jedenfalls veränderte Beschaffenheit des Aetherkanals auch auf die letzte von Wirkung sein muss. Durch eine homogene Farbenplatte kann nur diejenige Wärme-Art gehen, welche mit dem Lichtstrahl von derselben Farbe combinirt ist, welche also von einem Körper mit derselben Farbe herrührt; durch eine Platte von heterogener Farbe kann die Wärme nicht dringen, welche ein Körper mit der complementären Farbe ausstrahlt. Diese Gesetze können nach der Stoffanschauung nicht absolut gelten, weil die Längsbewegung nicht unter allen Umständen das Schicksal der Querbewegung theilen muss.

Schaltet man hinter ein Prisma von Steinsalz, welches keine Wärme verschluckt, also allen Wärme-Arten Durchgang gestattet, ein Glas von bestimmter homogener Farbe z. B. Roth ein, so werden alle Farben des Spectrums mit Ausnahme des Roth verlöscht. Nur an dieser Stelle ist auch die Wärmewirkung ungeschwächt; an allen andern muss sie geschwächt erscheinen. — Schaltet man ein farbiges heterogenes Glas, z. B. Roth ein, so werden alle Farben des Spectrums, mit Ausnahme des Grün, bleiben; Grün muss verschwinden. Ebenso ist an der Stelle des Grün die Wärmewirkung am meisten geschwächt.

Daraus würde und müsste folgen, dass ein farbloses Prisma, z. B. von Glas, Alaun, Eis, welches ja allen Lichtfarben den Durchgang ermöglicht, auch alle leuchtenden Wärmefarben durchlassen müsste. Dies würde auch der Fall sein, wenn die Vertheilung der Aetherkanäle im Prisma dieselbe wäre, wie die der wirksamen Aetherstrahlen in dem ankommenden Strahlenbündel. Da dies im Allgemeinen nicht der Fall ist, so lassen nicht alle durchsichtigen Körper alle leuchtenden Wärmestrahlen durch. Eis lässt von 100 Wärmestrahlen einer Lampe nur sechs durch; von 100 rothen Sonnenstrahlen gehen durch Glas 85, durch Alaun nur 84. Ebenso müsste aus der absoluten Geltung des Satzes gleich-

zeitiger Farben- und Wärmevernichtung folgen, dass undurchsichtige Körper für leuchtende Wärme atherman sein müssten. Wir sahen schon, dass dies nicht der Fall ist; übrigens folgt dies auch aus der nur beschränkten Geltung jenes Satzes.

Diejenigen Wärmestrahlen, welche wegen ihrer innigen Verbindung mit Lichtstrahlen den Weg derselben zu gehen gezwungen waren, wenn sie mit ihnen auf ein Prisma von Steinsalz, Glas oder Alaun fielen, werden dadurch auch stark von ihrer Richtung abgelenkt, gehen also nicht in der Richtung des Hauptbündels von Wärmestrahlen weiter. Dieses Bündel wird jedenfalls auch Strahlen enthalten, die nicht mit Lichtstrahlen combinirt sind; diese können natürlich an der Veränderung der Richtung keinen Antheil nehmen, sondern gehen in der Richtung des Bündels weiter. Und wenn es wirklich dunkle Aetherschwingungen in dem Vorroth giebt, so müssen auch mit diesen Wärmestrahlen verschmolzen sein, welche dann dem Schicksal der vermeintlichen vorrothen Lichtstrahlen folgen müssen, also nicht so stark von ihrer Richtung abgelenkt werden.

Die ersten mit den farbigen Lichtstrahlen combinirten Wärmestrahlen müssen wegen ihrer starken Ablenkung sehr schief in die Aetherkanäle eintreten; dadurch schon müssen sie einen Theil ihrer Stosskraft einbüßen. Dann ist die Zerstreuung der Lichtstrahlen und daher auch dieser Wärmestrahlen um so grösser, je stärker sie gebrochen werden; daher wird also die Dichte dieser Strahlen abgenommen haben. Endlich haben sie wegen der Ablenkung die nicht combinirten, geradeaus gehenden Wärmestrahlen verloren. Daher muss die Stärke der Wärmewirkung im farbigen Theil des Spectrums viel geringer sein, als in dem Strahlenbündel selbst. Zwei Ursachen dieser Schwächung vergrössern sich, je mehr die Lichtstrahlen gebrochen werden; der Eintritt in die Aetherkanäle wird schief, die Zerstreuung wird stärker, während der Mangel der nicht combinirten Strahlen bleibt. Daher muss die Wärmewirkung im Sonnenspectrum vom Roth nach dem Violett zu immer mehr abnehmen und im Ultraviolett ganz aufhören.

Bei der Betrachtung des vorrothen Spectraltheiles und seiner Wärmewirkungen wollen wir einmal annehmen, es gäbe keine vorrothen Aetherschwingungen, keine Schwingungen, deren Zahl weniger als 450 Billionen in der Secunde beträgt. Wir dürfen dies, da

man ja nur aus der Wärmewirkung des vorrothen Theiles auf das Vorhandensein dieser Schwingungen schloss und, beiläufig gesagt, dann den Rückschluss machte, dass die Wärme aus diesen Schwingungen bestehe. Wir haben für unsere Annahme auch einige Wahrscheinlichkeit; denn die fleissigen Arbeiter in der Fluorescenz hätten uns gewiss schon ebensogut die farbigen Strahlen in vorrothe, unsichtbare, wärmende Strahlen verwandelt, wie sie die ultravioletten, chemischen in farbige verwandelt haben, wenn eben solche vorrothe Schwingungen möglich wären. Wenn wir jene Annahme machen, so sind ausser den schon betrachteten farbigen Wärmestrahlen nur noch solche vorhanden, die nicht mit Lichtstrahlen combinirt waren und die in der, nur ein wenig durch die seitlich abgewichenen Strahlen geschwächten, alten Dichte weiter gehen, vielleicht ein wenig durch die Aetherkanäle in ihrer Richtung verändert. An der vorrothen Stelle der Spectraltafel, wohin diese Strahlen fallen, muss daher die stärkste Wärmewirkung stattfinden. Dieselbe muss nach der den Farben abgewendeten Seite sehr rasch abnehmen, weil an der Grenze des Bündels durch dasselbe nur wenige Aetherfäden mitgerissen werden können, die dann auch noch stossend auf die Spectraltafel wirken und daher die Grenze ein wenig erweitern. So erklärt sich der starke Absprung der Wärmewirkung von ihrem Maximum auf Null im vorrothen Spectraltheil. Die Schwingungs-Theorie kann dafür keine stichhaltige Erklärung geben. Auf der andern den Farben zugewendeten Seite müsste je nach der Richtung der Aetherkanäle diese stärkste Wärmewirkung durch einen grösseren oder geringeren wirkungslosen Zwischenraum von dem farbigen Theil des Spectrums getrennt sein oder könnte sich auch allmählig mit demselben verbinden. Hierin müsste je nach dem Gefüge des Stoffes die grösste Verschiedenartigkeit eintreten, ebenso wie die Stelle der grössten Wärmewirkung für jeden Stoff eine andere sein müsste. Dies letzte bestätigt die Erfahrung; für das erste meine ich in kleinen Tabellen J. Müller's¹ in seiner grossen Physik eine Bestätigung zu finden, wenn ich diese Tabellen recht verstehe. Müller drückt nämlich die Grösse der Wärmewirkung an verschiedenen Stellen im Vorroth durch Zahlen aus, welche die Ablenkungen der

¹ Müller's Lehrbuch der Physik. 6. Aufl. II. S. 744.

Magnetnadel angeben, wenn er seine Thermosäule 1, 2, 3, 4, 6''' über die rothe Grenze hinaus hinter ein Prisma von Steinsalz oder Kronglas stellt. Bei 2''' ist für Steinsalz, bei 3''' für Kronglas keine Zahl angegeben, sondern ein kleiner Strich, wie an der Stelle zwischen Indigo und Violett, wo er keine Wärmewirkung wahrnahm. Sollten nun diese Striche besagen, dass an diesen Stellen keine Wärmewirkung wahrgenommen werden kann, so wäre dies ein glänzender Beweis für die Richtigkeit der Aetherlehre sowohl, als dafür, dass die vorrothen Aetherschwingungen entweder gar nicht oder nur 1—2''' über das Roth hinaus existiren.

Sollte diese letzte Annahme aber unrichtig sein, sollten doch vorrothe Aetherschwingungen bestehen, so müssten mit denselben auch wieder Wärmestrahlen combinirt sein. Diese aber würden wegen ihrer geringeren Schiefe in den Aetherkanälen weniger geschwächt, wegen ihrer geringeren Brechung weniger zerstreut sein, und müssten endlich noch durch die nicht combinirten Strahlen in der geraden oder wenig veränderten Richtung des auffallenden Strahlenbündels verstärkt werden. So würde sich denn erklären, wie die Wärmewirkung im vorrothen Theil vom Roth an allmählig zunimmt. Da diese Strahlen sich aber auf einen viel grösseren Raum vertheilen, als sie in ihrem ursprünglichen Strahlenbündel einnahmen, so kann auf jeden Theil des vorrothen Raumes nur ein gelichtetes Bündel, eine einfache Gruppierung von Strahlen fallen. So erklärt sich der Satz: Im Vorroth des Sonnenspectrums befindet sich nur dunkle Wärme.

*Brechung, Doppelbrechung, Beugung, Interferenz und
Polarisation der Wärmestrahlen.*

§. 39. Wenn Wärmestrahlen immer mit Lichtstrahlen, hellen oder dunkeln Aetherschwingungen verschmolzen sind, so erklärt sich daraus, dass sie an dem Geschick derselben Theil nehmen müssen. Wenn sie also auf einen brechenden Stoff fallen, so müssen die mit Lichtstrahlen combinirten Wärmestrahlen ebenso und nach denselben Gesetzen wie diese gebrochen werden. Die nicht combinirten müssen den betreffenden Stoff entweder in der Richtung des ankommenden Strahles durchlaufen, oder in einer andern, wenn die Aetherkanäle des Stoffes die Richtung der Strahlen nicht haben, sie müssen dann

auch abgelenkt werden. Dabei muss aber nicht bloß die Richtung der Strahlen geändert, sondern auch ihre Stosskraft geschwächt werden, weil dieselbe bei der Ankunft der Bewegung an einem Kanal sich in zwei Componenten zerlegen muss, eine in der Richtung des Kanals und eine in der dazu senkrechten; durch die letzte wird die Dichte des Aethers, also die Wärme des Körpers selbst erhöht, während die erste den Durchgang vermittelt. Da dieselbe kleiner geworden ist, so muss die Menge der auf der andern Seite austretenden Aetheratome vermindert sein; also wird durch die Brechung die Wärme geschwächt. Diese letzteren nicht combinirten Strahlen müssen bei jedem andern Stoff eine andere Richtung einschlagen und zu den ersteren bei jeder andern Wärmequelle in einem andern Verhältnisse stehen; daher muss die Zahl der hier möglichen Erscheinungen sehr gross sein, worüber die spärlich angestellten Untersuchungen keinen Aufschluss geben. Finden sich in einem durchstrahlten Körper mehrere Richtungen mit zahlreichen, regelmässigen Aetherkanälen, wie es bei den das Licht doppelt brechenden Krystallen der Fall sein muss, so kann auch eine doppelte Brechung der Wärme, ja sogar eine mehrfache Brechung derselben aus diesen Gründen eben so gut für die nicht combinirten Strahlen stattfinden, wie sie die combinirten mit dem Lichte gemeinschaftlich erfahren.

Da mit der Brechung sowohl als mit der Reflexion Wärmeverluste verbunden sind und zwar an ganz bestimmten Stellen der brechenden oder reflectirenden Körper, bei den ersten an den reflectirenden Stellen, bei den letzten an den durchlassenden Stellen, so muss eine mehrfache Brechung oder Reflexion diese von wirksamen Aetherfäden ganz leeren Stellen immer mehr vergrössern, während die Wirkung an den mit solchen Fäden ausgefüllten Stellen durch Zusammentreffen von mehreren Bündeln verstärkt sein kann. Daraus ergeben sich die Erscheinungen der Interferenz und Polarisation der Wärmestrahlen. Sind z. B. mehrere Platten so gelegt, dass ihre Aetherfäden parallel sind, so können die aus der einen Platte tretenden Strahlen ungehindert durch die zweite gehen; kreuzen sich aber die Aetherfäden, so müssen die Wärmestrahlen der ersten Platte von der zweiten absorbirt werden.

Dass ein Bündel wirksamer Aetherstrahlen auch die umliegenden Aetherfäden mit in Stossbewegung versetzen muss, wurde schon erwähnt. Es erklärt sich daraus einfach die Beugung der Wärmestrahlen.

Zweite Grundanschauung.

IV.

Die Wärme ist eine Bewegung.

1. Die strahlende Wärme.

Licht und strahlende Wärme sind identisch.

§. 40. Nach dem Versuche, eine dem Stand der Wissenschaft entsprechende Stoffanschauung für die Wärme aufzustellen, bleibt uns noch die Aufgabe, die gebräuchlichen Bewegungstheorien zu entwickeln. So weit die Freunde derselben auch in der Erklärung der Körperwärme auseinander gehen, so einstimmig sind sie in der Annahme des Satzes: strahlende Wärme und Licht sind identisch.

Demnach bestände die strahlende Wärme in der Bewegungstheorie aus Schwingungen des Aethers und müsste sich durch Aetherwellen fortpflanzen, wesshalb wir manchmal den Ausdruck Wellenlehre gebraucht haben. Schlagen diese Wellen des Aethers an die Gefühlsnerven, so bringen sie die Empfindung der Wärme hervor; wirken sie auf die Netzhaut des Auges, so bringen sie Lichteindrücke hervor. Fallen die Aetherschwingungen auf einen Körper, so werden sie zurückgeworfen oder sie dringen in den Körper ein, indem sie die Körperatome desselben oder seine Aetheratome in Schwingungen versetzen, ähnlich wie die Schallschwingungen, die in der Luft durch das Ertönen einer Saite entstehen, in einer gleichgestimmten Saite leise denselben Ton erwecken. In welchem Falle die Körperatome eines Körpers, in welchem dessen Aether-

atome in Schwingungen versetzt werden, welches die Gründe dieses Unterschiedes sind, ist von Seiten der Bewegungslehre noch nicht untersucht worden. Nur nehmen Einige an, dass im ersten Falle die Wärme des Körpers selbst erhöht, die Wärme also von dem Körper absorbirt werde. Nach dieser Anschauung müsste dann die Körperwärme in Bewegungen der Körperatome bestehen. Im zweiten Falle, wo die Aetheratome des Körpers in Schwingungen versetzt werden, sehen Manche die Erklärung der Durchstrahlung des Körpers; denn diese Aetherschwingungen müssen sich auf der andern Seite des Körpers weiter fortpflanzen und können dann je nach ihrem Schicksal als Wärme oder Licht auftreten.

Durch die Annahme dieser Identität von Licht und strahlender Wärme kommt Manches zu rascher Klarheit. Wir erfahren dadurch z. B., was aus den Lichtschwingungen des Aethers wird, die doch immer in unendlicher Fülle von allen Sonnen oder Fixsternen aus das Weltall überfluthen. Fallen sie auf die Körper, so werden sie grösstentheils in Körperwärme verwandelt. Man brauchte zwar auch von Seiten der Stoffanschauung gerade über diesen Theil der Lichtschwingungen nicht in Verlegenheit zu sein; wir können sie auch unterbringen, lassen sie auch ganz einfach in Körperschwingungen übergehen. Diese sind uns aber dann nicht Wärme, sondern Molecular-Bewegungen, welche den Atomen eine gewisse Freiheit und dadurch die Möglichkeit verleihen, sich nach ihren Kräften zu gruppiren und so Krystallkeime zu bilden, deren Zusammenhäufung den krystallinischen Zustand darstellt. So erklären sie uns einen Satz des geologischen Metamorphismus, der eine fortdauernde, unendlich langsame Veränderung alles Stoffes ausspricht und damit den krystallinischen Zustand der Urgesteine erklärt. Dass es nur sehr langsam geschehen kann, ist einfach erklärlich, weil viele der unendlich schwachen Bewegungen der Aetheratome nothwendig sind, um nur ein Körperatom, und nun gar die ungeheure Zahl von Atomen einer Erdschichte in Bewegung zu versetzen.

Der Stoffanschauung aber sowohl, wie der Wellenlehre, liegt noch die Lösung der Frage ob, wohin die Wärmestrahlen, ob Aether oder Aetherschwingungen, gerathen, welche nicht auf Weltkörper treffen oder von denselben reflectirt wurden. Zur Lösung der Frage aber müsste man beiderseits wissen, ob das Weltall Grenzen

hat oder nicht. Im ersten Fall muss an den Grenzen eine Reflexion der Wärmestrahlen stattfinden, wodurch dieselben sich in einem oder mehreren Brennpuncten vereinigen müssen. Vielleicht sind die Sonnen in den Brennpuncten des Weltalls und erhalten also die Wärme immer wieder, die sie ausstrahlen. Rankine¹ meint, dass die Wärme in diesen Brennpuncten gross genug sei, um einen erloschenen Stern wieder in glühenden Dunst aufzulösen, wenn derselbe im Laufe seiner Bewegung in jenen Raum käme. Damit wäre auch die Möglichkeit von Weltbränden ausgesprochen; denn eine Welt voll Leben könnte ja gerade so gut in einen jener Brennpuncte gerathen. Möge uns der Himmel lieber in seinem kalten Schoosse behalten. Ueberhaupt ist aber nicht denkbar, dass ein schneller Lauf durch diesen Brennpunct so gewaltigen Einfluss haben könne. Auch müsste die Wärme von diesem Puncte sehr rasch in den, wenigstens 120° kalten Weltraum fortwährend strahlen, so dass derselbe fortwährend seine Wärme einbüßen müsste, also unmöglich genug zu dem genannten Zweck vorhanden sein könnte; endlich ändern ja die Weltkörper fortwährend ihre Stellung, also könnten auch die Brennpuncte nicht immer dieselbe Lage haben.

Hat das Weltall keine Grenzen, so müssen die Wärmestrahlen der einzelnen glühenden Puncte sich allmähig in das ganze Weltall vertheilen und dadurch eine gleichmässige, vielleicht ewige Frühlingstemperatur erzeugen. Clausius² spricht etwas Aehnliches in einem Satze seiner neuesten Abhandlung aus: die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Wir werden auf denselben noch zurückkommen.

Eine ganze Gruppe von Erscheinungen der strahlenden Wärme wird durch die Annahme der Identität von Wärme und Licht sofort zu überraschender Klarheit erhoben; denn die längst bekannten Erklärungen der Lichterscheinungen gelten nun auch für die Erscheinungen der strahlenden Wärme. So erklärt sich sofort, warum die Wärmestrahlen gerade Linien sind, die sich von jeder Wärmequelle aus nach allen Seiten ergiessen und im umgekehrten Ver-

1 On the Reconcentration of the Mechanical Energy of the Universe. Phil. Mag. Ser. 4. Bd. 4.

2 Clausius, Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie, S. 59.

hältniss der Quadrate der Entfernungen wirken. Die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme muss der des Lichtes gleich sein, wenn die Identität richtig ist. Demnach müsste das Resultat Wrede's über diesen Gegenstand falsch sein.

Die Gesetze der Reflexion waren schon längst auch für die Wärme gefunden; die Erklärung derselben für das Licht musste nach der Annahme der Identität auch für die Wärme gelten.

Die Identität von Licht und Wärme erhält sogleich dadurch einige Wahrscheinlichkeit, dass mit dem meisten gewöhnlichen Licht, dem Licht der Sonne, der irdischen Feuer, Wärme verbunden ist. Ganz vollständig kann die Identität nur sein, wenn jedes Licht Wärme aussendet und wenn jeder warme Gegenstand Lichtstrahlen ergiesst. Dass alle Lichtstrahlen auch Wärmestrahlen sind, ist auch jetzt noch nicht vollständig erwiesen. Melloni hat an dem Mondlicht nur höchst geringe Spuren von Wärme nachweisen können, die wegen ihrer Geringfügigkeit leicht eine Täuschung sein können. Dove¹ wies erst in den letzten Tagen aus Beobachtungen in den Polarländern nach, dass die täglich stattfindende Dämmerung in den Gegenden, wo die Sonne mehrmals während 24 Stunden nicht aufgeht, mit Wärme, aber in höchst geringer Menge, verbunden sei. Ueberhaupt werden wir an diesen Gegenstand später einige Einwendungen knüpfen müssen. Dass umgekehrt durchaus nicht alle Wärmestrahlen auch Lichtstrahlen sind, weiss Jeder, der sich in einem dunkeln Zimmer an einem dunkeln Ofen gewärmt, Jeder, der sich an einem heissen schwarzen Metall die Finger verbrannt hat. Um dies zu erklären, musste man annehmen, dass nicht bloss die leuchtenden Aetherschwingungen von 450—800 Billionen Schwingungen in einer Secunde Wärme seien, sondern dass es auch Aetherschwingungen von geringerer Zahl als 450 Billionen per Secunde gäbe und dass auch diese Wärme-Eindrücke hervorbrächten. Die dunkle Wärme besteht also in der Wellenlehre aus weniger als 450 Billionen Schwingungen des Aethers. Man hat für diese Erklärung der dunkeln Wärme manche Anhaltepunkte, z. B. die Thatsache, dass im Vorroth des Sonnenspectrums und auch der Spectra anderer leuchtenden Flammen und Gegenstände eine starke Wärmewirkung wahrzunehmen ist. Daraus schloss man,

1 Poggendorff's Annalen, Band 125.

dass die Sonne und andere Lichtquellen auch Strahlen enthielten von der angeführten geringeren Schwingungszahl. Solche Strahlen müssen nämlich nach der mathematischen Theorie des Lichtes eine geringere Brechung erfahren und daher auf das Vorroth des Sonnenspectrums treffen. Da nun dieses auch Wärme enthielt, so erklärte man diese dunkle Wärme für die Wirkung jener geringzähligen Schwingungen des Aethers. Auch hiergegen hatten wir schon früher und haben wir noch später Einwendungen zu machen.

Gewissheit konnte die Annahme der Identität erst einigermaßen werden, wenn nicht nur sämtliche schon bekannten Wärmeerscheinungen sich jener Idee gemäss deuten liessen, sondern wenn nachgewiesen war, dass die strahlende Wärme in sich selbst, wie in ihrem Verhalten zur Körperwelt ganz dieselben Eigenschaften zeige, wie die Lichtstrahlen, wenn also zu sämtlichen Lichterscheinungen sich identische oder analoge Wärme-Erscheinungen auffinden liessen. Konnte man dies, so war die Identität über jeden Zweifel erhaben und dadurch wenigstens das Wesen der strahlenden Wärme begründet. Desshalb sehen wir seit der Zeit des ersten Auftauchens der Idee der Identität viele Physiker aller gebildeten Länder lebhaft beschäftigt, die Eigenthümlichkeiten der strahlenden Wärme zu erforschen. Wurde durch das eifrige Streben, jenes schöne Ziel zu erreichen, nicht hier und da der Blick getrübt, die Anschauung befangen, so dass andere Resultate unbeachtet, andere Richtungen unerforscht blieben, so muss zugestanden werden, dass eine grosse Zahl von Analogieen zwischen Licht und Wärme aufgefunden wurden, welche die Idee der Identität rechtfertigen. Doch mussten wir auch schon auf widersprechende Erfolge, auf verschiedene Zahlenresultate über denselben Gegenstand bei verschiedenen Forschern hinweisen und wird uns Aehnliches im Laufe dieser Besprechung noch öfter vorliegen. Auch muss daran erinnert werden, dass eine und dieselbe Erscheinung, von verschiedenen Standpuncten aus behandelt und beurtheilt, gar oft verschiedene Deutungen und Folgerungen zulassen kann. So sahen wir, dass die sämtlichen, alten und neu gefundenen Wärme-Erscheinungen auch einer geläuterten Stoffanschauung entsprechen, während die Physiker, getragen von der allgemeinen Begeisterung für die Bewegung, jede Stoffanschauung mit so souveräner Verachtung behandelt haben, dass es als ein Wagniss, wie eine Art Ketzerei, erscheint, ein Wort zu Gunsten

derselben zu reden; und doch sind eigentlich nicht, wie in der Lehre vom Licht Versuche vorhanden, die ihre Unmöglichkeit beweisen; Versuchsergebnisse aber, die zu Gunsten der Stoffanschauung sprächen, sind nur höchst selten veröffentlicht worden. Nicht, als ob man solche nicht wollte an die Öffentlichkeit gelangen lassen, sondern es strengte sich Niemand an, zu ihren Gunsten Etwas zu thun. Nur in den letzten Zeiten sind auch einige Sätze entstanden, die mehr der Aetherlehre, als der Wellentheorie entsprechen. So machte Clausius¹ bekannt, dass der zweite Satz der mechanischen Wärmetheorie sich nur dann entschieden beweisen lasse, wenn die Stärke der Ausstrahlung eines Körpers auch von der Natur des umgebenden Mittels abhängig sei, was ganz der Aethertheorie entspricht, aber dem Princip des beweglichen Gleichgewichtes nicht gemäss ist. So hat Knoblauch in dem letzten Heft von Poggendorff's Annalen nachgewiesen, dass die Menge der durchstrahlten Wärme eines Körpers unter übrigens gleichen Umständen von der Nähe der Wärmequelle abhängig sei, während diese doch gewiss, abgesehen von dem Gesetze der Abnahme der Intensität umgekehrt nach dem Quadrat der Entfernung, auf die Schwingungen des Aethers keinen Einfluss haben kann; aber nach der Stoffanschauung wird durch das Eingreifen der wirksamen Aetheratome in die umliegenden unwirksamen die Stosskraft der ersten, und damit auch die Grösse der Durchstrahlung um so mehr geschwächt, je länger dieser Eingriff dauert, je weiter also die Wärmequelle von dem durchstrahlten Körper entfernt ist.

Begriffe auf dem Grund der Identität.

§. 41. Lässt man das Sonnenlicht durch verschiedene Prismen gehen und untersucht die Wärmeverhältnisse des entstehenden Spectrums, so findet man grosse Verschiedenheiten; allein im Allgemeinen zeigt sich eine wärmende Wirkung im Vorroth bis zu einer Stelle, die so weit vom Roth entfernt ist, als das Violett. In dem Vorroth selbst hat die Wärmewirkung ihre grösste Stärke und nimmt nach dem eben angegebenen Ende hin rasch ab, während sie nach der andern Seite allmählig immer geringer wird und

¹ Abhandlung VII in der Sammlung von Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie.

im Violett verschwindet. Daraus folgt: Unter strahlender Wärme versteht die Bewegungstheorie transversale Aetherschwingungen von 200 bis 800 Billionen in einer Secunde; dunkle Wärmestrahlen machen 200—450, leuchtende Wärmestrahlen 450—800 Billionen Schwingungen.

Einem jeden Wärmestrahle muss eine bestimmte Temperatur zukommen, die er dem materiellen Punct mittheilt, den er trifft. Es fragt sich nun, was die Höhe der Temperatur hier bedingt. Wenn die strahlende Wärme überhaupt in der Einwirkung der Aetherbewegung auf die Körper besteht, so muss diese Einwirkung um so stärker sein, je stärker die Aetherbewegung ist. Die Stärke einer Bewegung wird aber nach den Lehren der Mechanik gemessen durch die lebendige Kraft einer bewegten Masse d. h. durch das Product der Masse mit dem Quadrat ihrer mittleren Geschwindigkeit. Demnach ist die Temperatur eines Wärmestrahls gleich der lebendigen Kraft seiner Aetheratome. Da die Atome alle dieselbe Masse haben, so ist die Temperatur dem Quadrat der Geschwindigkeit direct proportional. Die Geschwindigkeit eines Aetheratoms kann aber auf zwei Arten grösser werden: 1. indem das Aetheratom in derselben Zeit grössere, weiter ausgreifende Schwingungen macht oder, wie die Wellenlehre sich ausdrückt, indem die Schwingungsamplitude grösser wird; 2. indem das Aetheratom in kürzerer Zeit dieselbe Schwingung, also in einer Secunde mehr Schwingungen macht. Dieser Unterschied der Schwingungsgeschwindigkeit bedingt aber, wie schon erwähnt, die Wärmefarbe; denn unter einer bestimmten Wärmefarbe versteht die Wellenlehre gerade so, wie eine bestimmte Schwingungsgeschwindigkeit im Auge den Eindruck einer bestimmten Lichtfarbe erzeugt, den wärmenden Eindruck einer bestimmten Zahl von Aetherschwingungen in einer Secunde. So macht rothe Wärme 450, violette Wärme 800 Billionen Schwingungen in einer Secunde. Wir sehen demnach hier den Begriff der Temperatur mit dem der Wärmefarbe in Collision gerathen oder eigentlich in zu grosse Uebereinstimmung, hinter der sich Collisionen verbergen. Denn ein Atom von den ersten vorrothen Strahlen macht halb soviel Schwingungen und ein Atom der violetten Strahlen doppelt soviel Schwingungen, als ein Atom der rothen Strahlen in derselben Zeit. Daher ist die Geschwindigkeit

der Atome der ersten vorrothen Strahlen halb so gross und die der Atome in den violetten Strahlen doppelt so gross, als in den rothen Strahlen. Demnach müsste die Temperatur in den ersten vorrothen Strahlen viermal geringer, und die in den violetten Strahlen viermal höher sein, als die Temperatur der rothen Strahlen. Statt dessen findet aber das directe Gegentheil statt; ganz in der Nähe der ersten vorrothen Strahlen findet sich die grösste Wärmewirkung; im Roth ist sie ungefähr halb so gross und am Ende des Violett ganz gleich Null. Aus diesem Widerspruch der Wirklichkeit mit der Theorie müsste eigentlich sofort die entschiedenste Verwerflichkeit der letzteren folgen. Doch, möchte man sie retten und wollte dafür annehmen, dass in den vorrothen Strahlen die Weite der Schwingungen (statt des gebräuchlichen barbarischen Wortes Vibrationsamplitude) viel grösser sei, als im Roth und vom Roth an nach dem Violett zu stark abnähme, so müsste man doch erst Gründe für diese Annahme anführen. In dem unzerlegten Strahl sind doch offenbar gerade so, wie in einer Luftschwingung, die gesammte Tonmasse eines Orchesters für einen Moment combinirt ist, alle Eigenthümlichkeiten des zerlegten Strahls in eine Aetherbewegung zusammengesetzt, deren Bestandtheile durch den Einfluss der brechenden Kraft des Prismas auseinandertreten in verschiedene Strahlen; warum nun jeder Strahl eine andere Amplitude haben soll, ist nicht abzusehen, da doch die verschiedene Brechung nur in der verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der verschiedenen Strahlen durch das brechende Medium beruht und nicht im Entferntesten auf der Amplitude. Wollte man darauf verweisen, dass ja auch die Lichtstärke in den einzelnen Theilen des Spectrums verschieden ist, so würde man uns nur ein neues Mittel an die Hand geben, um zu zeigen, dass die Schwingungsweite der vorrothen Strahlen die der rothen nicht übertreffen kann. Nach den Untersuchungen Fraunhofers ist die Intensität des Lichtes, die ja eine Function der Amplitude ist, im Gelb am grössten und nimmt von da an nach dem Roth und dem Violett hin ab. Dasselbe muss dann natürlich mit der Amplitude stattfinden. Wollte man annehmen, dass sie vom Roth an wieder wachse, so hiesse das der ruhigen Folgerung Gewalt anthun. Wenn sie vom Gelb nach dem Roth zu abnimmt, so muss sie im Vorroth noch kleiner sein, also müsste auch aus diesem Grunde im Vorroth die Tempe-

ratur niedriger sein, als im leuchtenden Spectrum. Nehmen wir diesen Einfluss nur gering, eine zweifache Verminderung erzeugend, an, so müsste die Temperatur an der Stelle des Maximums achtmal geringer sein, als im Roth. Welch' ein Widerspruch! Doch vielleicht ist noch ein Mittel, ihn zu heben. Der Brechungsexponent längerer Wellen ist nämlich kleiner, als der der kürzeren Wellen; er nimmt aber nicht in demselben Masse ab, wie die Schwingungszahlen, sondern langsamer. Daraus folgt, dass die weniger brechbaren Strahlen auch weniger zerstreut werden. Wirklich erscheint auch im Spectrum das Roth etwas schmaler, als Orange u. s. w., und die Fraunhofer'schen Linien sind nach dem Violett zu immer häufiger, denn sie geben uns ja die Stellen des Spectrums an, die wegen zu grosser Zerstreuung der Lichtstrahlen nicht von Strahlen getroffen werden. Allein dieser Unterschied zwischen dem Roth und dem Violett ist ein so geringer, dass er kaum nennenswerth erscheint. Vielleicht hat die etwas grössere Dichte der rothen Strahlen den Erfolg, dass die Schwingungsweite sich etwas vergrössert; allein derselbe ist jedenfalls sehr gering, wie die geringe Lichtintensität des Roth beweist. Ebenso gering kann auch der durch diese Verhältnisse bewirkte Unterschied zwischen dem Roth und der Maximalstelle im Vorroth sein. Ausserdem sind ja die Thermosäulen, die hier zum Mass der Wärmewirkung benutzt werden, so schmal, dass die grössere Dichte der Strahlen auch nur einen geringen Einfluss üben kann. Lassen wir aber doch durch denselben, um alles Mögliche zu thun, die Temperatur sich verdoppeln, so ist sie an der Maximalstelle doch immer noch viermal so niedrig, wie im Roth, d. h. nach der Theorie, während sie in Wirklichkeit dort doppelt so hoch ist. Der Widerspruch ist also nicht gelöst!

Alle diese Eigenschaften der dunkeln Wärmestrahlen, die man anführt, um ihre höhere Temperatur zu erklären, müssten doch auch für diejenigen Aetherschwingungen gelten, deren Zahl geringer als 200 Billionen in der Secunde ist. Man könnte freilich sagen, dass solche Schwingungen nicht bestehen; allein man gibt doch jenseits des farbigen Spectraltheils der Sonne noch zwei Octaven chemisch wirkende Strahlen zu, warum will man denn im Vorroth so missgünstig sein, da doch die hohen Schwingungszahlen sich ebenfalls auf der Sonne immer neu erzeugen müssen, wie in jeder

irdischen Flamme und jedem allmählig erglühenden Körper, und daher jedenfalls hohe erst aus niedrigen hervorgehen müssen. Wenn nun immer neue hohe Schwingungszahlen entstehen, so müssen auch immer niedere vorhanden sein. Ausserdem nimmt zwar die grösste Wärmewirkung im Vorroth nach der dem Roth entgegengesetzten Seite sehr rasch ab, aber sie macht doch nicht einen plötzlichen Sprung vom Maximum zu Null, wie es sein müsste, wenn durch die geringere Brechung und wachsende Amplitude die Temperatur vom Roth an zunähme und dann durch Strahlenmangel verschwände. Es sind also noch Strahlen jenseits der grössten Wärmewirkung vorhanden; für diese und die oben erwähnten noch niedrigeren müssten doch die beiden Einflüsse auch stattfinden und daher die Wärmewirkung im Vorroth ohne Ende steigen.

Emission und Absorption der Wärmestrahlen.

§. 42. Die Sonne sendet nach der Schwingungstheorie unendlich viele Strahlenarten aus; bis zu 450 Billionen Schwingungen in der Secunde wirken sie nicht auf das Auge, sind dunkle Wärme; bis zu 800 Billionen sind sie sodann wärmend und leuchtend, bilden helle Wärme; von da an bis zu vielleicht 3000 Billionen Schwingungen wirken sie weder wärmend noch leuchtend, trotz der grossen Schwingungszahl, sondern nur chemisch.

Eben so verschieden sind die Strahlen, die von irdischen Körpern ausgehen. Das Emittiren der Strahlen besteht darin, dass die Schwingungen der Körperatome eines heissen Körpers sich den Aetheratomen in derselben Zahl und Stärke mittheilen und dass die Aetheratome des Körpers sodann diejenigen ausserhalb des Körpers in dieselbe Bewegung versetzen. Daraus folgt, dass die Temperatur der Strahlen von der Temperatur des Körpers abhängt, dass jede Verdichtung der Oberfläche eine Verminderung der Ausstrahlung erzeugt und demnach die Emission für jeden Körper eine andere ist. Was die Farbe der ausgesandten Wärme anlangt, so zeigen Versuche, nicht aber die Theorie, dass bei höheren Temperaturen und zwar bei ganz bestimmten, die leuchtenden Strahlen beginnen. Unter 425 Grad senden die Körper nur dunkle Strahlen aus, von da an solche von grösserer Schwingungszahl. Die Wärmefarbe hängt also von der Temperatur und nicht von der Natur

eines Körpers ab. Treten zu den Strahlen von unter 450 Billionen Schwingungen solche von 450—800 Billionen, so wird die Temperatur bedeutend erhöht. Das entspricht allerdings dem Grundsatz der Theorie, dass die Wärme eine schnelle Bewegung kleinster Theilchen sei und dass daher mit der Heftigkeit der Bewegung die Intensität der Wärme zunehmen müsse. Aber gibt es nicht Körper von violetter Farbe, die also lauter Schwingungen von der grössten Geschwindigkeit aussenden und doch nur höchst geringe Spuren von Wärme? Enthält nicht das Mondlicht, das Licht der Fixsterne auch Strahlen von diesen ungeheuren Schwingungsgeschwindigkeiten, und zeigt doch nur kaum merkliche Spuren von Wärme? Spricht dies nicht wieder eben so stark gegen jenen Grundsatz?

Um die Verschiedenheit zu beseitigen, dass Leuchtkraft, schnelle Lichtschwingungen bei kalten Körpern keine Wärme, bei weissglühenden Körpern aber hohe Hitze erzeugen, lehrt die Schwingungstheorie, dass allerdings die höheren Wärmefarbenstrahlen erst bei höherer Temperatur entstehen, aber nur in geringer Menge; die höhere Temperatur sei also nicht ihnen zu verdanken, sondern einer grösseren Menge noch neben den leuchtenden entstandenen dunkeln Wärmestrahlen. So zeigt sie z. B., dass in weissglühendem Platin fast keine und in der Locatelli'schen Lampe, die ebenfalls weiss glüht, nur höchst wenige leuchtende Strahlen sind. Nun lehrt aber doch der Augenschein, dass diese beiden Quellen leuchtende Strahlen in grosser Menge aussenden, die selbst dem Tageslicht trotzen. Wenn nun die höhere Temperatur nicht von diesen zahlreichen stark leuchtenden Strahlen von grosser Schwingungsgeschwindigkeit herrührt, dann ist die Folgerung geboten, die Höhe der Temperatur sei überhaupt nicht in der grösseren Geschwindigkeit der Aetheratome, die strahlende Wärme sei nicht in einer Bewegung begründet.

Wenn nun die Schwingungstheorie selbst zu zeigen gezwungen war, wie wenig Wärme hohen Schwingungsgeschwindigkeiten entspreche, wie geringe Spuren von Wärme dem lebhaftesten Lichte entsprechen, so lässt sich auch leicht das Gegentheil dathun, nämlich das Vorhandensein sehr hoher Schwingungsgeschwindigkeiten in dunkler Wärme, in dunklen Flammen, welche doch nach der Schwingungstheorie nur weniger als 400 Billionen Schwingungen des Aethers entwickeln. Bringt man nämlich ein Stückchen Kreide in die dunkle Knallgasflamme, so geräth dasselbe sofort in die

blendendste Weissgluth; dies ist nach der Theorie des Lichtes nur möglich, wenn die Theilchen der Kreide in allen nur möglichen Schwingungsarten von 450—800 Billionen in einer Secunde begriffen sind. Diese Schwingungsarten konnten den Kreidetheilchen nur, nach der Schwingungstheorie, mitgetheilt werden durch ganz gleiche Schwingungen der Aetheratome in der Flamme. Also muss die dunkle Flamme des Knallgases, und Aehnliches gilt fast von allen Flammen reiner Gasströme, die ja alle entweder farblos, lichtlos oder höchstens schwach farbig sind, Schwingungen des Aethers von 450—800 Billionen in der Secunde enthalten. Daraus folgt sofort, dass die Definition der dunklen Wärme in der Schwingungstheorie falsch ist.

Vielleicht könnte Jemand gegen diese Folgerung den Einwand erheben, dass sich die Weissgluth auf folgende Weise erklären lasse: Wenn ein Körper durch einen andern in Schwingungen versetzt wird, so erhält er zwar im Allgemeinen dieselbe Art oder Zahl von Schwingungen; allein er kann auch, wie Helmholtz¹ so schön dargestellt hat, in Schwingungen versetzt werden, deren Zahl zwei-, drei-, vier- u. s. w. mal grösser ist, als die Schwingungszahl des schwingungerregenden Körpers. Demnach könnte ja der Aether der dunkeln Flamme den Kreidetheilchen die doppelte, dreifache u. s. w. Schwingungszahl ertheilt und dadurch die Weissgluth erzeugt haben. Diese Ansicht müssen wir in folgender Weise widerlegen: Wenn ein Körper mehrfache Schwingungen von seinem Erreger erhält, so muss der letztere entweder dies beabsichtigen oder der erstere muss sich in einem Zustande befinden, dass er nur eine bestimmte Anzahl von Schwingungen machen kann. So kann ein tieferer Ton in der Saite des um eine Octave höheren Tones natürlich nicht den tiefen, sondern nur den Ton der Saite selbst, die höhere Octave erwecken. Nun wird man aber doch in der Schwingungstheorie nicht behaupten wollen, die Theilchen der freien, nicht wie eine Saite von bestimmter Länge und Dicke, gespannten Körper könnten etwa nur eine Art von Schwingungen machen. Sie sind ja ganz frei und nehmen doch, wie der Augenschein in dem Stückchen Kreide lehrt, alle Schwingungsarten von 450—800 Billionen an; warum sollten sie denn die niedrigeren nicht annehmen,

1 Helmholtz, die Lehre von den Tonempfindungen, S. 64.

warum sollten sie dieselben verdoppeln, da sie dazu nicht, wie eine gespannte Saite, gezwungen sind. Dann sind diese höheren Schwingungsarten, die ein Körper von niedriger Schwingungszahl erzeugt, an Kraft so schwach, dass ihre Wahrnehmung z. B. bei den Saiten nur dem geübtesten, feinsten oder mit Resonatoren bewaffneten Ohre möglich ist. Die Schwingungen der Kreidetheilchen aber sind von grosser Schwingungsweite oder Amplitude, denn sie haben eine Leuchtkraft, so gross, wie wir sie auf Erden kaum mehr erzeugen können; also können sie nicht durch Vervielfachung von Mitschwingungen entstanden sein. Kurz, die dunkeln Flammen müssen, nach Folgerungen auf dem Boden der Schwingungstheorie selbst, hohe oder leuchtende Schwingungszahlen enthalten, was ein starker Widerspruch der Theorie mit sich selbst ist.

Der angeführte Versuch, das Drummond'sche Kalklicht, ist, wie viele ähnliche Thatsachen, auch noch ein Beweis gegen einen Satz, den die Schwingungstheorie aufgestellt hat und sonach gegen diese selbst. Die dunkeln Flammen strahlen nach dieser Theorie nur Schwingungen unter 450 Billionen aus; das Stückchen Kreide aber, welches in eine Flamme gebracht wird und nothwendig die Temperatur derselben annimmt, strahlt solche von 450—800 Billionen aus. Demnach hängt die Art oder Farbe der Wärme nicht bloss von der Temperatur, sondern auch von der Natur des ausstrahlenden Körpers ab, während diese Theorie annehmen muss, dass die Wärmefarben nur von der Temperatur abhängen, dass bei niedriger Temperatur nur geringe, bei höheren immer mehrzahlige neben mehr geringen, und bei den höchsten die meistzahligen neben allen vorausgehenden Schwingungsarten ausgesandt werden.

Indem wir zur Absorption übergehen, müssen wir zunächst zeigen, wie man sich dieselbe im Sinne der Schwingungstheorie zu denken hat. Wenn Aetherwellen an einem Körper anlangen, so müssen dieselben theilweise zurückgeworfen werden, theilweise in den Körper eindringen, indem die Schwingungen der Aethertheilchen sich den kleinsten Körpertheilchen mittheilen. Wenn aber irgend eine Wellenbewegung an einer Wand anlangt und es findet sich in dieser Wand der Stoff der Welle, so wird immer zuerst dieser Stoff in weit überragende Schwingungen versetzt. Demnach müsste durch die angenommenen Aetherwellen zunächst der Aether des Körpers in Schwingungen versetzt werden. Das nimmt aber

die Schwingungstheorie nur bei den durchsichtigen und diathermanen Körpern an. Nur die Theorie meines verehrten Lehrers Redtenbacher, welche die Körperwärme auch in Aetherschwingungen sieht, und Rankine vielleicht verletzen den obigen unbestreitbaren Satz von der vorwiegenden Mittheilung der Wellenbewegung an gleichen Stoff nicht; oder die übrigen müssten denn gerade annehmen, die athermanen Körper enthielten gar keinen Aether und daher müssten die Aetheratome der ankommenden Strahlen den Körperatomen ihre Bewegungen mittheilen. Allein auch in diesem unmöglich denkbaren Fall bleibt uns die Absorption nach der Schwingungstheorie unerklärlich. Es ändert nämlich die Absorption die Wärmefarbe immer und zwar werden aus hohen Wärmefarben niedere, so dass ein und derselbe Körper immer dieselbe Wärmefarbe ausstrahlt, mag er von den verschiedensten Quellen seine Wärme empfangen haben. Nun kommt es aber niemals vor und ist, wie leicht zu zeigen, unmöglich, dass ein Körper einem andern seine Schwingungen in geringerer Zahl mittheilt; das Gegentheil ist nur möglich, wie wir soeben hörten. Denn sollte das gestossene Theilchen in derselben Zeit z. B. viermal weniger Schwingungen machen, als das stossende, so müsste dieses letztere das gestossene während eines Hinschwungs viermal treffen, aber während eines Rückschwungs auch wieder viermal gerade in entgegengesetzter Richtung, wodurch die Bewegung natürlich sofort zu Ende wäre. Die wichtigste Absorptionserscheinung, die durch die Absorption hervorgerufene Farbenerniedrigung der Wärme ist nach den Grundsätzen der Schwingungstheorie selbst unmöglich, und doch hat man jeden Augenblick hundertfache Gelegenheit, dieselbe zu beobachten. Die Sonne bestrahlt Tage lang die Körper mit hellen Wärmestrahlen, sie aber strahlen mit Ausnahme der wenigen, die durch Inso-lation phosphoresciren, nur dunkle Wärme aus. Es wäre eine angenehme Eigenschaft der Körper, wenn sie, wie es nach der Schwingungstheorie sein müsste, am Tag die hellen Strahlen einsaugten und in der Nacht Alles mit mildem Sonnenlicht übergossen wäre, das ebenso mild Alles erhellte. Man hätte ein dunkles Zimmer nur einmal zu beleuchten nöthig; die aufgefallenen, reflectirten oder absorbirten Strahlen müssten ihre Helligkeit behalten und den Raum, wenn er abgeschlossen wäre, ewig hell erhalten. Leider ist die schöne Theorie falsch.

Die Beziehung zwischen dem Emissions- und Absorptions-Vermögen eines und desselben Körpers, wodurch beide Vermögen von denselben Körperzuständen in gleicher Weise abhängig werden, ist von Kirchhoff auf dem Boden der Schwingungstheorie mathematisch nachgewiesen worden; doch entfließt sie auch, wie wir sahen, sehr einfach und allgemeiner der Stoffanschauung.

Die Diathermanität.

§. 43. Nach der Schwingungstheorie setzt bei manchen Körpern eine ankommende Aetherwelle die Körpertheilchen, bei andern die Aethertheilchen in Schwingung; der Grund dieses Unterschiedes ist dunkel. Bei den letzteren Körpern theilt sich diese Aetherbewegung dem Aether auf der andern Seite des Körpers mit: der Körper ist durchstrahlt. Bei dieser Durchstrahlung können, sowohl wenn die Eintritt- und Austritt-Fläche parallel sind, als auch wenn sie einen Winkel machen und daher ein Prisma bilden, allerlei Veränderungen mit den Strahlen vor sich gehen, die unter den Namen Brechung, Doppelbrechung, Polarisation zusammengefasst werden, von denen die letztere, wie auch die Beugung und Interferenz auch unter andern oder ähnlichen Umständen auftreten. Da die Schwingungstheorie die Identität der strahlenden Wärme mit dem Licht, wenn auch nicht dem Umfang, so doch dem Wesen nach zur Grundlage hat, so brauchte sie um die Erklärung solcher Erscheinungen nicht verlegen zu sein, da ja klassische Interpretationen für die analogen Lichterscheinungen bestehen. Es handelte sich nur darum, und dies war die Hauptschwierigkeit, nachzuweisen, dass für die Wärmestrahlen alle die genannten Veränderungen und genau in derselben Weise stattfinden, wie für die Lichtstrahlen. Es ist nun nicht zu verkennen, dass sich hierbei grosse Schwierigkeiten entgegenstellten, die von einzelnen Physikern, wie Knoblauch, Melloni, Forbes, Seebeck, Franz u. A. mit wahrhaft bewundernswerther Ausdauer zu überwinden versucht wurden. Denn während bei den entsprechenden Licht-Versuchen die Apparate nur aufgestellt zu sein brauchen, um dem Auge sofort die Beobachtung der interessantesten Farben- und Lichterscheinungen zu ermöglichen, die dasselbe mit der grossen Feinheit seiner Empfindung auch sofort aufzufassen vermag, ist das dunkle und unbestimmte, bei ver-

schiedenen Personen höchst verschiedene, bei einer Person wechselnde Gefühl für Wärme-Veränderungen durchaus physikalisch unbrauchbar. Ausserdem handelt es sich hierbei oft um höchst geringe Wärmemengen, ganz nahe bei einander liegende sehr kleine Wärmeunterschiede, für deren Beobachtung erst höchst empfindliche Apparate geschaffen werden mussten und welche auch mit diesen Apparaten doch nur schwierig beobachtet werden können, da die Wärmeverhältnisse des Beobachtungszimmers, die eigene Wärme des Beobachters störend eingreifen können, während bei den Lichtversuchen ein dunkles Zimmer genügt, um die feinsten Licht- und Farben-Wirkungen wahrnehmen zu können. Aus den angeführten Gründen wurden aber auch die betreffenden Versuche bis jetzt nur noch von wenig Physikern gemacht und von nicht viel mehr Leuten, als gerade diesen gesehen. Verfasser dieses hat Experimentalphysik gehört bei Kulp, bei Eisenlohr zweimal, bei Magnus, Dove und Buff, und in allen diesen Vorlesungen nur wenige, die einfachsten Versuche mit dem Melloni'schen Apparate gesehen. Es ist auch ganz unmöglich, diese feinen Versuche einem grossen Auditorium vorzuführen. Um so mehr muss die Vorsicht des Zweifels gestattet, ja geboten sein, ohne dass man dem Verdienst jener Männer zu nahe tritt; erst, wenn die Versuche über Polarisation, Doppelbrechung, Interferenz und Beugung, verschiedenartige Durchlassung, Brechung, Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen, über gleichmässige Zu- und Abnahme von Licht- und Wärme-Intensitäten eine solche Einrichtung erlangt haben, dass sie Jeder leicht nachmachen kann, oder wenn wenigstens eine Reihe von bedeutenderen Experimentatoren die Versuche und Resultate Einzelner unter den verschiedensten Umständen nachgemacht und gleich gefunden haben, wenn die aufgestellten Zahlen-Tabellen bestätigt und ihre Widersprüche aufgeklärt sind, wenn nachgewiesen ist, dass ausser den in einer Richtung gewonnenen Resultaten keine nach anderer Richtung vorhanden sind, erst dann lassen sich für das Wesen der strahlenden Wärme so entscheidende Schlüsse aus jenen Erscheinungen ziehen, als man sie für das Licht aus den analogen Erscheinungen gewonnen hat.

Da Wärme und Licht identisch sind, so müssen nach der Schwingungstheorie auch alle durchsichtigen Körper diatherman sein für leuchtende Strahlen. Merkwürdigerweise zeigen sich die mei-

sten, mit einziger Ausnahme des Steinsalzes (während es Hunderte von alllichtdurchlassenden Körpern giebt, haben wir nur diesen einen allwärmedurchlassenden) durchsichtigen Körper sehr unliebenswürdig gegen die dunkeln Wärmestrahlen und verschlucken die meisten derselben, während sie gegen die nur wenig höher liegenden Farben plötzlich höchst tolerant sind, denselben ungehindert oder nur ein wenig beraubt den Durchzug gestatten. Für diese Sonderbarkeiten hat nun allerdings die Schwingungstheorie die Verantwortung nicht, obwohl so grosse Verschiedenheiten sehr auffällig sind. Ganz dunkle Körper, wie Russ, schwarzes Glas, schwarzer Glimmer, die keine Spuren von höheren, helleren Schwingungsgeschwindigkeiten, selbst nicht die dunkelrothesten von 450 Billionen Schwingungen durchlassen, sondern sie unbarmherzig verzehren, werden plötzlich höchst nachgiebig, wenn es sich um solche handelt, die ebenso schwarz sind, als sie selber, lassen sie in ziemlicher Menge ungehindert passiren. Wie gesagt, diese Auffälligkeiten erklärt die Schwingungstheorie ganz einfach mit der verschiedenen Absorptionsfähigkeit verschiedener Körper gegen verschiedene Wärmefarben. Durchsichtige Körper absorbiren meist die dunkeln, undurchsichtige alle hellen Wärmestrahlen, rothe durchsichtige Körper lassen nur rothe Wärmestrahlen durch, verschlucken, wenn sie homogen sind, alle anderen und wenn sie heterogen sind, nur diejenigen, die sie nicht schon haben.

Doch betrachtet man die Zahlenreihen, welche diese Gesetze ausdrücken und beweisen sollen, so stossen erhebliche Nebengedanken auf. Am allermerkwürdigsten verhalten sich hinsichtlich der Diathermanität Alaun und Eis, wenn sie selbst vollkommen klar und durchsichtig sind. Während Steinsalz von 100 Strahlen einer hellbrennenden Lampe und von einer weissglühenden Platinspirale 92 Strahlen durchlässt, gestattet Alaun von der Lampe nur 9, von dem Platin 2 Strahlen den Durchgang, Eis aber lässt von der Lampe nur 6, von dem Platin gar keinen Wärmestahl durch. Daraus muss man entweder folgern, dass diese zwei durchsichtigen Körper nicht oder nur höchst mangelhaft diatherman sind, sich also gegen Wärme und Licht verschieden verhalten, dass also diese beiden nicht identisch sind, — oder, was noch sonderbarer wäre, dass diese zwei Körper alle dunkeln Wärmestrahlen verschlucken und nur die leuchtenden durchlassen, dass demnach das hell glü-

hende Platin gar keine und die Locatelli'sche Lampe unter 100 Wärmestrahlen nur 6 leuchtende enthält, dass also das helle Licht dieser zwei Gluthen keine Wärme ist, folglich, dass Licht und Wärme nicht identisch sind. Einen interessanten Gegensatz dazu bilden schwarzes Glas und schwarzer Glimmer. Diese lassen nach der Theorie keine leuchtenden Wärmestrahlen durch, nach Versuchen auch nur sehr wenige dunkle, und doch von 100 Strahlen einer Lampe deren 26. Bernstein lässt gar keine dunkle Wärme durch, sondern nur leuchtende; nun enthält aber die Locatelli'sche Lampe nur 6 leuchtende Strahlen und doch gehen durch den Bernstein deren 21. Dieser fast bei allen Zahlen der Melloni'schen Tabelle¹ nachweisbare Widerspruch zeigt eben, dass der Unterschied der Wärmefarben nicht ein so scharfer, wesentlicher, durch Zahlen charakterisirt ist, wie bei den Lichtfarben, sondern nur ein relativer, wie ihn die Aetherlehre auffasst.

Hier zeigt sich auch ein Beweis für unsere aus unserer Theorie geschöpfte Vermuthung, dass verschiedene Forscher unter verschiedenen Umständen über denselben Gegenstand verschiedene Resultate erhalten müssen, da die Wärmefarben als Gruppierungen ebensowenig etwas Wesentliches sind, wie Atomgruppierungen immer in derselben Weise auftreten müssen. Knoblauch fand, dass Alaun und Gips von dunkelm Platin mehr Wärme durchlassen, als von gelbglühendem, während nach Melloni Alaun gar keine und Gips nur höchst unbedeutende Mengen dunkler Wärme durchlässt, der erste aber von 100 Lampenstrahlen 9, der letzte 14. Diese Verschiedenheit, ja der Widerspruch dieser Resultate, von denen das eine die entgegengesetzte Folgerung, wie das andere gebietet, spricht ebenso sehr gegen die Schwingungstheorie, als für die Aetherlehre; denn nach der letzteren hängt die Farbe der Wärme nicht von der Farbe des Körpers ab, sondern von der Temperatur und Atomgruppierung; und besagen diese verschiedenen Resultate, an deren Richtigkeit, gegenüber den bedeutenden Namen ihrer Producenten, nicht gezweifelt werden kann, dass gleichfarbige Wärme unter verschiedenen Umständen, bei Platin von verschiedenem Gefüge oder verschiedener Art der Erzeugung, durchaus innerlich ungleich sein kann, was

¹ *Wüllner*, Experimental-Physik, Theil III, S. 339. *J. Müller*, Physik, 6. Aufl. Band II. S. 737.

nach der Schwingungstheorie unmöglich, nach der Aethertheorie nicht bloss möglich, sondern im Allgemeinen sogar nothwendig ist!

Zweifelerregend müssen auch die Versuche über Durchlassung der Wärme durch Prismen aus verschiedenen Substanzen erscheinen. Bekanntlich wird dabei im Allgemeinen die Wärme viel stärker zerstreut, als das Licht; die letzte Stelle des Wärmespectrums im Vorroth liegt soweit vom Lichtspectrum weg, als das letzte lang ist, und nach Melloni sollen sogar die chemischen Strahlen noch wärmend wirken. Dies erklärt die Schwingungstheorie durch die Annahme: nicht bloss die Schwingungen von 450—800 Billionen, sondern eine grosse Zahl der vorausgehenden und vielleicht auch einige der nachfolgenden sind Wärme. Die letzteren sind stärker zerstreut, daher ihre geringere Wärmewirkung. Nun fällt aber nach Seebeck und Melloni bei einem Steinsalzprisma das Maximum der Wärmewirkung ganz nahe an das Ende des Wärmespectrums, nach einem Versuche Müllers 3''' vor das Roth, bei einem Kronglasprisma nach Seebeck in das Roth, nach Müller 2''' vor das Roth, bei einem Schwefelsäureprisma ins Orange, bei einem Wasserprisma sogar ins Gelb. Abgesehen von dem Widerspruch verschiedener Forscher, der unsere erwähnte Vermuthung wieder bestätigt, erklärt die Schwingungstheorie die Verschiedenheit der Lage des Maximums bei verschiedenen Prismen auf folgende Weise: Steinsalz absorbirt gar keine Wärme, lässt also das Maximum an seiner richtigen Stelle erscheinen; Kronglas absorbirt die dunkeln, Schwefelsäure auch noch die rothen und Wasser ausser diesen auch die orangefarbigten Wärmestrahlen; daher müssen diese Stellen eine niedrigere Wärmewirkung zeigen und das Maximum kann erst da eintreten, wo die Absorption aufhört. Dann müssten aber jedenfalls diese Maxima viel kleiner sein, als das vom Steinsalzprisma und jedes folgende kleiner, als das Vorhergehende, worüber mir keine Angaben vorliegen. Melloni¹ hält es für nöthig zu erklären, dass an den dünneren Stellen eines Prismas grössere Wärmemengen durchgingen, während an anderen dickeren Stellen auch noch grössere Mengen wegen ihrer Diathermansie durchgehen könnten. Er scheint also jene Verschiedenheiten der Wärmewirkung, jene Unterbrechungen, die wir aus der Aetherlehre ableiten

1 *Eisenlohr's Physik*, 9. Aufl. S. 402.

mussten und für welche wir die Tabelle Müller's anführten, auch gefunden zu haben und sie auf jene nicht ausreichende Weise zu erklären. Melloni¹ hat übrigens selbst, obgleich entschiedener Anhänger der Identität, gerade an dieser Stelle Versuche gemacht, die scharfe Beweise gegen dieselbe sind, die aber von den begeisterten Verehrern derselben nicht beachtet werden. Nur Franz² hat in der neuesten Zeit einige Versuche angestellt, die denen Melloni's entgegenstehen. Melloni schaltete nämlich vor das Prisma Platten von verschiedenen Substanzen und Farben ein, welche die verschiedenste Absorptionsfähigkeit hatten. Dadurch wurde aber die Stelle des Maximums nicht geändert, was zunächst beweist, dass nicht, wie die Schwingungstheorie behauptet, die Erzeugung dieser Stelle von der Absorption abhängig ist. Dann wurde das Lichtspectrum in den Farben auf das Lebhafteste geändert, so dass einige Farben geschwächt wurden oder verschwanden, während an den betreffenden Stellen keine Veränderung der Wärme wahrgenommen wurde, sondern die Wärmewirkung, wie im ungeänderten Spectrum gleichmässig vom Violett bis zum Roth zunahm. Dies beweist offenbar, dass die Lichtfarbe mit der betreffenden Wärmefarbe keinen Zusammenhang hat, dass also eine Lichtfarbe der gleichen Wärmefarbe nicht identisch ist, wodurch die Ansicht der Identität von Licht und Wärme wieder stark zweifelhaft wird.

Auch hat Melloni³ eine Trennung des Sonnenlichts von der Sonnenwärme bewirkt, wodurch die Nicht-Identität noch schärfer heraustreten muss. Er liess sowohl Sonnenlicht, wie irdisches Licht durch ein Gefäss mit parallelen Glaswänden gehen, die mit Kupferoxyd grün gefärbt waren. Das Gefäss selber wurde mit Wasser gefüllt. Bei gehöriger Dicke wurde alle Wärme bei dem Durchgang absorbirt, aber durchaus nicht das Licht. Denn concentrirte man die aus dem Gefäss heraustretenden Strahlen durch Sammellinsen, so entstand Licht so hell, wie das Sonnenlicht, aber keine Spur von Wärme, so dass das empfindlichste Thermoskop nicht die geringste Wirkung zeigte. Also haben wir wieder leuch-

1 Poggendorff's Annalen, Bd. 37. S. 486.

2 Ebendas., Bd. 101.

3 Ebendas., Bd. 37. *Eisenlohr*, 9. Auflage. S. 404.

tende Sonnenstrahlen, die keine Wärme sind, wieder ein Beweis, dass Aetherschwingungen keine Wärme sind. Man kann hier nicht einwerfen, bei der Sonne seien die Wärmewirkungen der leuchtenden Strahlen auch nahe = Null, wie bei der Locatelli'schen Lampe und die grösste Summe ihrer Wärme bestehe aus dunkeln Strahlen; man sehe sich nur die graphische Darstellung eines Sonnenwärmespectrums an, so wird man finden, dass ein grosser Theil der Wärmewirkung in das leuchtende Spectrum fällt, dass also nach der Schwingungstheorie die leuchtenden Strahlen starke Wärme sein müssten, während der letzte Melloni'sche Versuch das Gegentheil beweist. — Kann unter diesen Umständen der unbefangene Forscher sich unbedingt für die Identität, für die Schwingungstheorie aussprechen? Es ist dies um so weniger möglich, als die Freunde derselben sofort von einander abweichen, wenn sie das Gebiet der strahlenden Wärme verlassen und die Körperwärme als eine den Sinnen, ausser dem Gefühl, entgehende sehr feine Bewegung der kleinsten Körpertheilchen zu erklären suchen.

2. Die Körperwärme.

Der Wärme-Aether.

§. 44. Da die Bedenken gegen die Identität von Wärme und Licht schon manchem Forscher unüberwindlich erschienen und doch die Erscheinungen der Beugung, Polarisation, Doppelbrechung und Interferenz Manchen nur durch die Annahme von Schwingungen für die Wärme erklärlich däuchten, so sahen sich dieselben veranlasst, einen eigenen Wärme-Aether¹ anzunehmen, der gleich dem Lichtäther im ganzen Weltraume und in allen Körpern verbreitet sein sollte und sich von demselben durch ein anderes Gesetz der Anziehung gegen die Körperatome und der Abstossung gegen sich selbst unterscheiden müsste. Die beiden Aetherarten müssten in diesem Falle übrigens in so inniger Verbindung miteinander stehen, dass die Vorgänge in dem einen entsprechende in dem andern hervorrufen können. Sie müssten demnach überall

¹ *Marbach's physikalisches Lexikon*, Bd. 6, S. 759.

zusammen und ineinander verflochten ganz in derselben Weise gegen die Körper-Atome vorkommen, was nur möglich wäre, wenn beide denselben Gesetzen folgen würden. Daraus müsste sich aber sofort die Identität dieser beiden Aetherarten ergeben. Ein eigener Wärme-Aether ist also nicht denkbar.

Ampère's dreifache Theilung des Stoffes (1832).

§. 45. Ampère, der phantasievolle Entdecker des inneren Zusammenhanges zwischen Electricität und Magnetismus, hält es für wahrscheinlich, dass die strahlende Wärme¹ in Schwingungen des Aethers bestehe, welche sich dadurch von denen des Lichtes unterscheiden, dass sie längere Wellen erzeugen, also langsamer vor sich gehen. Ein Sonnenstrahl müsste demnach langsame Wärmeschwingungen und schnelle Lichtschwingungen enthalten. Da nun bei der Zerlegung der Schwingungen mittelst eines Prismas sämtliche langsamen Schwingungen weniger stark gebrochen werden, als die schnellen Lichtschwingungen, so müssten sämtliche Wärmestrahlen im Vorroth eintreffen und der farbige Theil des Spectrums dürfte keine Wärmewirkung zeigen. Dies ist aber bekanntermassen nicht der Fall; sonach ist die Ampère'sche Ansicht über die strahlende Wärme nicht annehmbar.

Hinsichtlich der Körperbeschaffenheit² unterscheidet Ampère zunächst und im Allerinnersten der Körper die Urtheilchen derselben, die Atome, welche nach ihm materielle Punkte, mit anziehenden und abstossenden Kräften begabt, sein müssen. Wie sich Ampère die Wirkung solcher Atome dachte, ist uns unerklärlich, da entgegengesetzte Kräfte, die in derselben Richtung nach gleichem Gesetz wirken, sich einander aufheben müssen. Die Atome, lehrte Ampère weiter, verbinden sich durch ihre attractiven und repulsiven Kräfte mit einander zu Molecülen, innerhalb deren sie durch jene Kräfte viel fester aneinander gehalten werden, als die Molecüle sich einander anziehen. Diese Molecüle halten sich mittelst dieser geringeren Anziehung einander fest, werden aber durch die Vibrationen des zwischen ihnen befindlichen Aethers in ver-

¹ *Eisenlohr*, 9. Aufl. S. 483.

² *Annales de Chimie et de Physique*, Bd. 58.

hältnissmässigen grossen Abständen gehalten. Die Molecüle können demnach noch keinen Aggregatzustand haben, ihre Abstände von einander sind es, die diesen Zustand bedingen und dadurch kleine feste, flüssige oder luftförmige Massentheilchen bilden, die Ampère Partikeln nennt. Am nächsten sind sich die Molecüle in den festen Partikeln, die luftförmigen sind eigentlich in Molecüle aufgelöst.

Diese Dreitheilung des Stoffes gibt nun Ampère die Grundlage für seine Ansicht über Schall, Licht und Wärme. Der Schall besteht aus Schwingungen der Molecüle innerhalb der Partikeln, die Wärme und das Licht aus ewigen Vibrationen der Atome innerhalb ihrer Molecülgrenzen. Diese Schwingungen der Atome pflanzen sich durch den die Molecüle und Partikeln umgebenden Aether fort. Pflanzen sie sich so fort, dass jede Welle, die an einer bestimmten Stelle des Aethers anlangte, diesen in eine nur einen Moment dauernde Bewegung versetzt und dann dadurch weiter schreitet, wie dies auch beim Schall in der Luft der Fall ist, so bilden sie die strahlende Wärme. Demnach besteht die strahlende Wärme bei Ampère aus fortschreitenden Schwingungen des Aethers, die Leitungswärme aber aus stehenden Schwingungen der Körperatome, die sich allmählig den benachbarten Körper- und Aetheratomen mittheilen und immer weiter ausbreiten, so dass mit der Ausbreitung die Stärke abnimmt, wie bei Kreiswasserwellen.

Warum der Aether das eine Mal in fortschreitende, das andere Mal in stehende Schwingungen gerathen soll, ist nicht angegeben; auch ist ein Grund dieses Unterschiedes nicht denkbar.

Wiener's ¹ dreifachwirkende Atome. (1863.)

§. 46. Wiener steht in seiner Stoff- und Wärme-Theorie derjenigen von Ampère nahe, indem er seinen Atomen ebenfalls mehrere Eigenschaften beilegt. Der Stoff ist bei ihm entweder Körper oder Aether; Körper ist derjenige Stoff, dessen Theile sich gegenseitig anziehen, Aether derjenige, dessen Theile sich abstossen. Von der gebräuchlichen Annahme weicht Wiener entschieden ab, indem er annimmt, dass Körper- und Aethertheile sich gegenseitig

¹ Wiener, Grundzüge der Weltordnung, 1—4te Abtheilung.

abstossen. Es wird demnach ein Körperatom anziehend, wenn ihm ein Körperatom nahe kommt, und abstossend, wenn ein Aetheratom in seine Nähe tritt. Damit muss denn natürlich auch angenommen werden, dass das zweite Körperatom in dem ersten die anziehende Kraft erwecke und dass das Aetheratom in diesem die abstossende Kraft hervorrufe. Demnach müssen die Atome sehr reich begabte Wesen sein: ein Körperatom muss anziehen, abstossen und in einem andern Körperatom die Anziehungskraft hervorrufen können, ein Aetheratom muss abstossen und in einem näher kommenden Körperatom auch die dem Wesen desselben widerstrebende Abstossungskraft erzeugen können. Bei einer solchen Begabung, welche die Atome nicht bloss zu passiv thätigen, sondern auch zu activ thätigen, kraftschöpferischen Wesen macht, hat der alte Emanuel Veith Recht, wenn er in seinen „Homiletischen Vorträgen“ sagt: Wiener wolle den Glauben an Gott durch den Glauben an die Atome verdrängen. Man könnte noch eher mit der Abstossung der Körperatome durch die Aetheratome einverstanden sein, wenn Wiener den letzteren eine überwiegende Grösse und geringere Zahl, wie man an manchen Stellen des Werkes glauben sollte, beilegen würde. Allein Seite 50 zeigt uns, dass auch er die Grösse der Aetheratome gegen die der Körperatome verschwinden lässt und dass zwischen den letzten sich sehr viele Aetheratome lagern; allerdings sind in der Nähe der Körperatome gar keine Aetheratome, wegen ihrer gegenseitigen Abstossung; erst in einiger Entfernung beginnen sehr lichte Kugelhüllen derselben, die nach aussen immer dichter werden; wo die dichtesten Stellen verschiedener Aetherhüllen sich berühren, also z. B. an der diagonalen Stelle von 4 Körperatomen, hat der Aether seine grösste Dichte. Noch dichter muss dann natürlich der Aether des Weltraumes sein, damit seine Abstossung so gross sei, als die der Körper- und Aetheratome der Körper. Da nun nach Wiener das Wesen der strahlenden Wärme in Aetherschwingungen besteht, so müsste der Weltraum wenigstens ebenso warm sein, als die Weltkörper, die ja von den Schwingungen eines weniger dichten Aethers erwärmt werden.

In der zweiten Abtheilung seines Werkes bestimmt Wiener den Unterschied der Aggregatzustände folgendermassen: Sehr entfernte Körper-Atome nähern sich einander durch die überwiegende Anziehung, bis ihre Abstossung durch den zwischenliegenden Aether

gleich der Anziehung geworden ist. So entsteht der luftförmige Zustand, ein Zustand von stabilem Gleichgewichte. Wenn der Luftzustand ein Gleichgewichtszustand für sich wäre, so wäre ja die Ausdehnbarkeit der Luft ein Märchen. Wenn man einen Schoppen Luft in ein luftleeres Zimmer bringt, dehnt er sich im ganzen Raume aus; ein solcher Zustand ist doch kein Gleichgewicht, sondern das directe Gegentheil. Die Atmosphäre ist allerdings im Gleichgewicht, aber nicht durch ihre inneren Kräfte, sondern nur durch den Luftdruck, ein Resultat der Schwere. — Bei weiterer Annäherung der Atome, lehrt Wiener weiter, muss wieder ein stabiler Gleichgewichtszustand entstehen, derjenige der festen Körper. Zwischen zwei in einander übergehenden festen Gleichgewichtszuständen muss es aber einen beweglichen geben, das ist derjenige der flüssigen Körper.

Diese durchaus unzureichende Bestimmung des Unterschiedes der Aggregatzustände wird nun in der dritten Abtheilung vervollständigt. Dort wird zunächst die Annahme gemacht, die Wärme bestehe in Schwingungen der Körper- und Aetheratome. Die Zunahme des Wärmegrades, das Steigen der Temperatur ist nichts anderes, als die Zunahme der Schwingungsweite und der damit verbundenen Abnahme der Schwingungsdauer der Aether- und Körperatome. Mit der gebräuchlichen Schwingungstheorie geräth Wiener hierdurch in Widerspruch; denn dieselbe nimmt zwar auch an, dass die Temperaturerhöhung eine Vergrößerung der lebendigen Kraft der Atome sei; aber sie lässt dieselbe vorwiegend durch die Zunahme der Amplitude erreichen und nur wenige der beteiligten Atome eine grössere Schwingungsgeschwindigkeit oder kürzere Schwingungsdauer annehmen; denn sie wüsste ja sonst nicht zu erklären, warum stark leuchtende heisse Körper nur so wenige leuchtende Wärme enthalten. Wiener aber lässt bei allen, die Wärme bildenden, schwingenden Körper- und Aetheratomen die Schwingungsdauer abnehmen, wenn die Schwingungsweite zunimmt, so dass er sogar den Satz ausspricht: der Wärmegrad ist eine allein von der Schwingungsdauer abhängige Grösse; er nimmt zu, wenn die Schwingungsdauer abnimmt. Wiener muss also wenig Vertrauen in die zahllosen Versuche am Sonnenspectrum haben, die da beweisen, dass der Wärmegrad vom Roth nach dem Violett hin, also bei immer kürzerer Schwingungsdauer, zunimmt. Die gewöhnliche Schwin-

gungstheorie sieht auch in der Schwingungsdauer durchaus nicht die Temperatur, sondern die Wärmefarbe, während Wiener diese letzte ganz unberührt lässt.

Dass Wiener die Wärme in den Schwingungen der Körper- und Aetheratome sucht, unterscheidet ihn einerseits von Redtenbacher, der sie den Aetheratomen allein zuschreibt, und anderseits von den meisten Freunden der mechanischen Wärmetheorie, welche die Körperwärme in Schwingungen oder anderen Bewegungen der Körperatome sehen. Consequenter ist er darin jedenfalls; denn, wenn die Aetherschwingungen der strahlenden Wärme sich den Körperatomen mittheilen, warum denn nicht auch den Aetheratomen des Körpers; und wenn die Körperatome durch Aetheratome getrennt sind, wie können sie dann ihre Bewegungen einander mittheilen, ohne den Aether auch zu bewegen? Oder will man vielleicht den Aether und damit die ganze gewaltige Lichttheorie läugnen, durch welche ja die Schwingungstheorie der Wärme erst möglich wurde? Das hiesse ja, den Vater durch das Kind verläugnen lassen.

Durch die Zunahme der Schwingungsweite der Körper- und Aetheratome bei erhöhtem Wärmegrad erklärt nun Wiener die Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Dabei erörtert er auch die Begriffe der äusseren und inneren Arbeit und kommt zu dem Schluss: Wärmemenge ist diejenige Arbeit, welche nöthig ist, um einen Körper von einem beliebigen Grade zu einem anderen höheren zu erwärmen, oder welche derselbe leistet, wenn er sich von einem höheren zu einem niederen Grade abkühlt. Die Wärmemenge, die ein Körper enthält, muss ihm also die lebendige Kraft der Bewegung sämmtlicher Atome sein.

Auf Grund dieser Begriffsbestimmungen giebt nun Wiener eine ausführliche Darstellung der Wärme-Erzeugung durch Druck, Stoss und Reibung; die Wärme bei chemischen Vorgängen entsteht aus drei Theilen: 1. aus der durch die Stellungsveränderung der Atome hervorgebrachte Arbeit. Dadurch wird ja aber Arbeit verzehrt, 2. aus der Abnahme der lebendigen Kraft der schwingenden Atome bei derselben Schwingungsdauer, 3. aus der lebendigen Kraft der ausgetretenen Aetheratome. Hier also schon tritt Wiener der Aethertheorie nahe. Ein Freiwerden von Aether in einem Fall muss ein Verzehren desselben in anderen Fällen bedingen. Wirklich lässt

Wiener die Körper nicht bloss beim Schmelzen und beim Verdampfen sehr beträchtliche Aethermengen aufnehmen, sondern auch beim Erwärmen, wodurch er nicht bloss in starken Widerspruch mit der gebräuchlichen Schwingungstheorie, sondern im Grunde genommen auch mit sich selbst tritt. Denn die Annahme von Schwingungen ist ja auch bei ihm nöthig, um die Interferenzerscheinungen u. dergl. zu erklären, weil dieselben nach gewöhnlicher Ansicht sich nicht dadurch erklären lassen, dass man die Wärme für einen Stoff ansieht. Wird nun ein Wärmestrahл gebrochen, so wird doch eine Stelle eines Körpers von dem gebrochenen Strahl erwärmt, die mit dem ursprünglichen Strahl in der Richtung gar keine Verbindung hat. Ebenso ist es mit den Stellen, die bei der Doppelbrechung, der Beugung, Interferenz, Polarisation Wärme erhalten; sie liegen alle in ganz anderer Richtung, als in derjenigen des ursprünglichen Strahls. In dieser Richtung liegt auch der erwärmende Körper, aus dieser Richtung kommt also auch der freigewordene Aether desselben und nimmt durch die Eigenthümlichkeiten der Wellenbewegung keine Richtungsänderungen an. Wie können also die erwähnten in ganz anderer Richtung liegenden Stellen erwärmt werden, Aether aufnehmen? Auch die gebundene Wärme beim Schmelzen und Verdampfen besteht nach Wiener theilweise in der lebendigen Kraft der dabei aufgenommenen Aetheratome. Die latente Wärme ist übrigens bei ihm ein ganzer Complex von Arbeiten: die Zunahme der lebendigen Kraft der schwingenden Körpermolecüle, die entsprechende Zunahme der Aetheratome, die Arbeit zur Veränderung der Abstände der Körper- und Aetheratome, endlich die Arbeit zum Eintritt und die Zunahme der lebendigen Kraft der eintretenden Aetheratome.

Nach all diesen Auseinandersetzungen wird es möglich, den Unterschied zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen genauer festzusetzen. Ausser den schon erwähnten nicht definirbaren Gleichgewichtslagen sind folgende wesentliche Unterschiede angeführt: 1. In den festen Körpern schwingen die Körpermolecüle in entgegengesetzter Richtung, wie die Aetheratome; in den flüssigen Körpern dagegen haben die Schwingungen der Körpermolecüle und der Aetheratome gleiche Richtung; in den luftförmigen Körpern können beide Richtungsarten von Schwingungen vorkommen. 2. Im flüssigen Körper befindet sich nur ein Theil der Molecüle im Be-

reiche der Gleichgewichtlage der festen und ein anderer Theil vorübergehend in dem der luftförmigen, während in einem festen Körper alle Molecüle nur in dem einen Gleichgewichtszustand der festen Körper sind. Da aber diese Unterschiede durchaus keine wesentlichen sind, so sieht sich der Leser Wieners durchaus noch im Dunkeln über das Wesen der Aggregatzustände. Höchstens könnte er sich an die erwähnten Gleichgewichtszustände halten: der feste Zustand ist ein fester Zustand des Gleichgewichtes zwischen Anziehung und Abstossung, wenn die Atome nahe sind, der luftförmige dasselbe, wenn die Atome ferner sind; der flüssige Zustand ist ein mittlerer zwischen beiden. Dass diese Unterscheidungen nicht befriedigen können, ist einleuchtend.

Die Unterschiede zwischen Strahlung und Leitung sind: bei der Strahlung befindet sich nur der Aether in Schwingung, bei der Leitung ausser diesem auch die Körperatome. Von den Eigenschaften der strahlenden Wärme ist nur die Reflexion betrachtet. Wiener scheint sich also in dieser Beziehung ganz an die Identität anzuschliessen, was er eigentlich nicht dürfte, da die Erwärmung ihm nicht bloss eine Vergrösserung der lebendigen Kraft der Atome, sondern auch eine Aufnahme von Aether ist.

Redtenbacher's¹ schwingende Aetherhüllen. (1857.)

§. 47. Redtenbacher, der berühmte Lehrer und Schriftsteller über den Bau und die Theorie der Maschinen, suchte auch die Eigenschaften des Stoffes mathematisch zu erfassen. Er blieb dabei fast vollständig der Atomtheorie treu, wie sie von Dalton aufgestellt und von den meisten Physikern angenommen wurde. Redtenbacher stützt sich hierin vorwiegend auf Cauchy; „denn dieser grosse Meister der Analysis legt dem dritten Abschnitt seiner Untersuchungen ebenfalls ein Doppelmedium zu Grunde, bestehend aus materiellen Puncten, die durch Zwischenräume von einander getrennt sind. Diese sind aber nicht absolut leer, sondern sie enthalten ein zweites System von materiellen, von einander getrennten kleineren Puncten. Dies ist der Aether. Zwischen den Körper- und Aetherpuncten finden folgende Wechselwirkungen statt. Je

1 *Redtenbacher*, das Dynamiden-System. Vorträge von 1849—1852.

zwei Körperpuncte ziehen sich an. Je zwei Aetherpuncte stossen sich ab. Körperpuncte und Aetherpuncte ziehen sich an.“ Man sieht leicht, dass diese Dalton-Cauchy'sche Stofftheorie auch unserer Aetherlehre zu Grunde liegt. Nur sündigt jene dadurch gegen das Princip der Trägheit, dass sie den Aetherpuncten das eine Mal Abstossung gegen die Aetheratome und das andere Mal Anziehung gegen die Körperatome beilegt, wodurch die Atome zu Göttern werden. Wir lösen dieses Missverhältniss durch die Annahme, die Körperatome enthalten nur Anziehung und die Aetheratome nur Abstossung; die Anziehung der Körperatome muss aber wegen der überwiegenden Grösse derselben die Abstossung der Aetheratome überwiegen. Indem Cauchy und Redtenbacher die Ansicht aussprechen, dass Körper- und Aetheratome einander anziehen, könnten sie eigentlich dem Aether die Eigenschaft der Schwere auch nicht absprechen; denn die Schwere ist ein Resultat gegenseitiger Anziehung, sonach müsste der Aether Redtenbacher's schwer sein, während derselbe entschieden ausspricht: die Aetheratome sind träge, aber nicht schwer¹.

Durch unsere Annahme ist dem Aether die Eigenschaft der Schwere unmöglich, während das Resultat der überwiegenden Anziehung der Körperatome gegen den Aether hier doch dasselbe sein muss, wie bei Cauchy und Redtenbacher: es muss sich nämlich eine Kugelhülle von Aether um jedes Atom und jedes Molecül bilden, die nach aussen immer lichter und lockerer wird. Redtenbacher ist zum Zweck der mathematischen Behandlung genöthigt, seinen Atomen eine grosse Entfernung von einander beizulegen. Daher muss die Aetherhülle jedes Kernes ein Ende haben, ohne mit denen der übrigen Kerne in Berührung zu treten, so dass zwischen den Aetherhüllen ganz ätherleere Zwischenräume entstehen. Das ist auch eine Folge der gegenseitigen Anziehung von Körper- und Aetheratomen. Ein Atom oder Molecül mit seiner Hülle nennt Redtenbacher eine Dynamide und einen Körper, der aus Dynamiden besteht, wie es nach Redtenbacher bei den flüssigen und luftförmigen Körpern der Fall ist, ein Dynamidensystem. In einem solchen ist kein freier Aether möglich. Demnach ist der Stoff unserer Aetherlehre kein Dynamidensystem, sondern schliesst sich mehr dem Doppelmedium Cauchy's an, das von Redtenbacher auch

¹ Redtenbacher, a. a. O. S. 14.

periodisches System genannt wird, weil im Laufe einer geraden, durch mehrere Atome gelegten, Linie die Dichte des Aethers in diesem System periodisch zu- und abnimmt. Cauchy nimmt nämlich die Entfernung der Atome nur gering an; daher muss der Aether auch die Zwischenräume der Dynamiden in geringerer Dichte ausfüllen. Dasselbe muss auch in unserm Aethersystem der Fall sein, weil der Aether die Körperatome nicht anzieht, sondern abstösst; auch bei grösserer Entfernung der Körperatome von einander muss deshalb der Aether die Räume zwischen denselben ausfüllen und daher theilweise frei werden.

Den Kernen seiner Dynamiden schreibt Redtenbacher folgende Kräfte zu: Allgemeine Schwere im umgekehrten Verhältniss der Quadrate der Entfernungen, physikalische Anziehung in einem stärkeren Verhältniss und chemische Anziehung oder Verwandtschaft. Diese complicirte Ausstattung der Körperatome ist nicht bloss gegen das mit einiger Tiefe erfasste Princip der Trägheit, sondern entspricht auch durchaus nicht dem Streben der rationellen Physik, alle materiellen Erscheinungen aus den zwei Molecularkräften abzuleiten.

Redtenbacher untersucht sodann, welche Bewegungen sowohl den Kernen, wie den Hüllen seiner Dynamiden möglich sind und kommt für die ersten zu folgendem Resultate: 1. Schwingungen der Schwerpunkte der Kerne; 2. continuirliche krummlinige Bewegungen derselben; 3. continuirliche Rotationen der Kerne um Achsen; 4. Schwingungen der Kerne um Achsen. Die physikalische Bedeutung dieser Bewegungen ist bekannt. Die elementaren Bewegungen der Aetheratome in den Hüllen dagegen können sein: 1. radiale Schwingungen der Aetheratome, wobei sich die Hüllen abwechselnd ausdehnen und zusammenziehen; 2. continuirliche Bewegungen der Hüllen um oder mit den Kernen; 3. drehende Schwingungen der Hüllen mit oder gegen die Kerne.

Die letzte Bewegung der Aetherhüllen weiss Redtenbacher nicht zu deuten; die zweite entspricht dagegen nach seiner Meinung dem electrischen Strom, und wenn nach dem Foucault'schen Versuch mit dem Bohnenberger'schen Maschinchen die Achsen der rotirenden Dynamiden sich der Erdachse parallel zu stellen suchen, dem Magnetismus. Da endlich die Wärme-Erscheinungen mit merklichen Volumsänderungen verbunden sind, so vermuthet Redtenbacher, dass dieselben auf den Schwingungen der ersten Art beruhen, welche

Ausdehnungen der Aetherhüllen zur Folge haben, wodurch die Repulsivkraft der Aetherhüllen gesteigert und mithin eine Ausdehnung des Körpers hervorgebracht wird.

Im ruhigen Zustande des Aethers ist also nach Redtenbacher ein Körper absolut kalt; sind aber in allen Aetherhüllen sämtliche Atome in strahlenförmigen Bewegungen, vom Kern nach aussen und wieder zurück, also in radialen Schwingungen begriffen, so ist der Körper warm. Auf diese Ansicht kam Redtenbacher wahrscheinlich durch die Meinung, es sei nicht möglich, dass die Schwingungen der Aetheratome in den Wärmestrahlen die Körperatome in eine Bewegung versetzen, die irgend eine Bedeutung haben könne. Dies spricht der genaue Kenner der Massenbewegung in Folgendem aus¹:

„Weil die Masse sämtlicher Aetheratome eines Körpers verschwindend klein ist im Vergleich zur Masse aller Körperatome, und weil uns unsere Nerven nur lebhaftere Schwingungen des Aethers empfinden lassen, so werden bei schwächeren Störungen des Gleichgewichtes in der Regel entweder nur die Aetheratome oder nur die Körperatome, nicht aber beide zugleich, in so lebhafte Bewegung kommen, dass sie empfunden werden können. Werden Schallschwingungen erregt, so werden zwar die Aetherhüllen von den Körperatomen mit hin und her gerissen, allein so lange der Aether nur so langsam schwingt, als die schallerregenden Körperatome, entstehen keine erheblichen Wärmewirkungen. Selbst mit Bach'schen Fugen kann ein grosses Orchester einen Concertsaal nicht heizen, aber die Saiten der Violinen und Haare der Bögen werden dabei doch warm. Wird der Aether eines Körpers durch bereits in Bewegung befindlichen äusseren Aether in Bewegung gebracht, so werden auch die Körperatome durch den Aether zur Bewegung angeregt, allein diese Aetherschwingungen geschehen viel zu rasch und die Massen der Körperatome sind viel zu gross, um in einen für unsere Sinne wahrnehmbaren Schwingungszustand gerathen zu können. Daher ist es bei derlei Problemen wohl gestattet, immer das eine oder das andere dieser Medien als ruhend anzunehmen.“

1 Redtenbacher, a. a. O. S. 24 u. 25.

Redtenbacher hat also die Ueberzeugung, dass die Körperatome unmöglich in eine für die Sinne wahrnehmbare Bewegung durch die Schwingungen des äusseren Aethers versetzt werden können, was die gewöhnliche Schwingungstheorie¹ annimmt, um die Absorption der Wärmestrahlen und die Körperwärme zu erklären. Wir können ihm darin nur vollkommen beipflichten. Zwar beruft sich Clausius in seiner Erklärung der Absorption auf den bekannten analogen Vorgang aus der Akustik: Wenn in der Nähe eines Saiteninstrumentes ein Ton kräftig angeschlagen wird, auf welchen eine der Saiten gestimmt ist, oder auch, dessen Obertöne nach Helmholtz auf irgend, einer Saite möglich sind, so erklingt der Ton oder Oberton leise aus dem Instrument. Allein es ist doch ein grosser Unterschied zwischen der Wirkung der ganz wesenlosen und so unendlich kurze Zeit andauernden Aetherschwingungen auf die massigen Körperatome und zwischen der Wirkung der allerdings wesenhaften und Masse enthaltenden Luftschwingungen von viel längerer Dauer auf die an Masse nicht viel grösseren Saitentheilchen; und doch trotz der günstigeren Umstände des letzteren Falles, welcher geringen Widerhall findet selbst der kräftigste Ton. Die Wärmestrahlen aber übertragen sofort ihre ganze Kraft auf den Körper, der ihnen ausgesetzt, erwärmen ihn in demselben Moment, in dem sie eintreffen.

Um zum Begriff der Temperatur zu gelangen, versuchte Redtenbacher verschiedene Hypothesen, die zu widersprechenden Folgerungen führten. So wurde er zu folgender Definition veranlasst: Die Temperatur ist proportional der mittleren lebendigen Kraft des einzelnen Aetheratoms und unabhängig von der Dichte des Aethers. Gerade von der letzteren abhängig wird aber bei Redtenbacher die specifische Wärme. Zwar gibt er anfänglich der Anzahl der Aetheratome, die in einer Gewichteinheit vorhanden ist, den Namen der wahren rationellen specifischen Wärme und unterscheidet diese noch von der empirischen Wärmecapacität; allein er verwechselt die beiden in einer folgenden Tabelle sofort mit einander und weist später auf dem Boden seiner Theorie ihre volle Uebereinstimmung für Gase nach. Demnach ist bei Redtenbacher die spe-

¹ *Clausius*, Populärer Vortrag über das Wesen der Wärme. *Müller*, Experimentalphysik. 2. Bd. S. 376.

specifische Wärme gleich der Zahl der Aetheratome in einer Gewichtseinheit oder was dasselbe ist gleich dem Quotienten aus der Dichte des Aethers durch das specifische Gewicht des Stoffes, wobei unter der Dichte des Aethers die Zahl der Aetheratome in einer Volumeneinheit des Stoffes zu verstehen ist. Nehmen wir einmal an, die Redtenbacher'sche Bestimmung der specifischen Wärme wäre richtig, so geräth dieselbe in merkwürdigen Widerspruch mit seiner Definition der Temperatur. Denn die specifische Wärme ist ja die Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur um 1° nöthig ist. Damit also die Temperatur um 1° erhöht werde, muss eine gewisse Zahl von Aetheratomen dem zu erwärmenden Stoff zugeführt werden. Es wird also die Temperatur dadurch von der Dichte des Aethers abhängig und die Wärme zu Aether. Man sollte an dieser Stelle glauben, Redtenbacher müsste zu der Ansicht kommen, dass die Wärme in der Aethermenge beruhe. Allein das geschieht nicht. Zwar zeigt er sofort, dass auch bei chemischen Verbindungen von Gasen, also bei Verbrennungen Aether frei d. h. entwickelt wird und berechnet auch die Menge desselben; ja er spricht sogar aus, dass dieser bei chemischen Verbindungen entwickelte Aether die Ursache der mit ihnen verbundenen Erzeugung von Licht, Wärme und Electricität sei; allein die Wärme bleibt ihm doch die radiale Schwingung der Aetheratome. Auf Grund seiner sonderbaren Definition der specifischen Wärme entwickelt er sogar ein unsern Anschauungen entgegenstehendes Resultat; er zeigt nämlich, dass auch bei der Dampfbildung Aether entwickelt wird. Einen Moment vorher lässt er Aether entwickelt werden, weil zwei Volumina sich chemisch verbindender Gase nur ein Volum einnehmen, und einen Moment später lässt er auch bei der grossen Volumvermehrung der Dampfbildung Aether entstehen. Dieser Widerspruch geht aus der offenbar falschen Definition der specifischen Wärme hervor. Denn in der Schwingungstheorie kann man darunter doch nur die Arbeit verstehen, die nöthig ist, um die Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen entsprechend zu erhöhen; in der Aethertheorie kann es aber nicht die schon bei den Atomen vorhandene Aethermenge sein, sonst müsste ja für jeden Grad Temperaturerhöhung die Aethermenge sich verdoppeln und daher für jeden folgenden Grad die specifische Wärme doppelt so gross sein, als für den vorhergehenden.

Diese widerspruchsvolle Begriffsbestimmung folgte unserm verehrten Lehrer offenbar aus einer gewissen Liebhaberei für den Dulong-Petit'schen Satz: die Wärme-Capacität der Atomgewichte der Elemente ist constant. Da er die Constitution des Stoffes möglichst einfach und daher die von ihm aufgestellte physikalische Anziehung, welche mit der chemischen Verschiedenheit Nichts zu thun hat, bei allen Atomen gleich gross annehmen wollte, so mussten auch alle Aetherhüllen der Elemente gleich viel Aetheratome enthalten. Da nun die specifischen Wärmen der Elementenatome nach dem obigen Satze auch ungefähr gleich sind, so ergab sich die Definition: specifische Wärme ist die Zahl der Aetheratome. Die hierin liegenden Schlüsse nennt er übrigens selbst gewagt, da die Zahlen noch zu unsicher seien. Wir sahen, wie die Stoffanschauung höchst einfach den Dulong-Petit'schen Satz sowohl, als dessen mangelhafte Geltung erklärt; wir sahen, dass die Aethermengen der einzelnen Atome nicht gleich sein können, aber im Verhältniss zu ihrer Menge nur geringe Unterschiede zeigen. Das zeigen auch deutlich die Zahlen der langen Tabelle, in welcher Redtenbacher die Dichte des Aethers und die Aethermenge einer Dynamide berechnet.

Dass nach Regnault's Versuchen die Wärme-Capacitäten der Gase unabhängig von der Temperatur und dem Druck sind, ist Redtenbacher ein Beweis der Richtigkeit seiner Begriffsbestimmung, da die Aethermenge einer Dynamide nicht von der Temperatur und dem Druck abhängt. Auf Grund derselben, sowie der absoluten Geltung der Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac bestimmt sodann Redtenbacher die Wärmemenge oder Arbeit, die zur Ausdehnung und Erwärmung eines Gases nothwendig ist. Aus der Gleichung, die er hierfür findet, und der bekannten Ausdehnung und Wärmecapacität der Gase ergibt sich sodann die Arbeit, welche eine Gewichteinheit Wasser um 1° C. erwärmen kann, oder das Arbeitäquivalent der Wärmeeinheit $= 424$ Kilogrammometer, ebenso gross als es Person aus der specifischen Wärme der Gase, Mayer und Joule aus Versuchen, und Clausius und Rankine aus der mechanischen Wärmetheorie gefunden haben.

Zwar zeigt Redtenbacher später noch die nur beschränkte Geltung des Mariotte- und Gay-Lussac'schen Gesetzes und stellt dasselbe potenzirt, für den Fall der Volumänderung ohne Wärme-

aufnahme oder Abgabe, auf, um es auf die Theorie der calorischen Maschinen anzuwenden; allein eine weitere Erklärung der Wärme-Erscheinungen sucht der Leser vergebens. Redtenbacher erklärt auch selbst den Wärme-Inhalt seines Dynamidensystems für fragmentarisch. Und wenn wir auch diese Fragmente für herrliche Blüten seines reichen Geistes erkennen und uns an ihnen ebenso erfreuen, wie einst an seinen anregenden Vorträgen, so müssen wir doch entschieden behaupten, dass auf Grund der Theorie des Meisters, wie wir den nun Hingeschiedenen so gerne nannten, eine Erklärung der Wärme-Erscheinungen nicht denkbar ist. Wie sollte z. B. die transversal schwingende Bewegung der Wärmestrahlen in die radiale der Aetherhüllen übergehen? Wie vereinigt sich die Volumvergrößerung des durch Verdunstung entstehenden Dampfes, ohne Erhöhung der Temperatur, also auch ohne Vermehrung der radialen Amplitude, gar noch mit Freiwerden des Aethers?

3. Die mechanische Wärmetheorie.

Entstehung.

§. 48. Es war seit langer Zeit bekannt, dass durch Arbeit Wärme entsteht. Der Mensch macht nicht bloss an sich selber diese Erfahrung, sondern benutzte seit undenklichen Zeiten die Arbeit der Reibung, des Stosses, des Zusammendrückens zur Erzeugung von Wärme, ja sogar von Feuer. Von dem rohen, Jedem aus dem Robinson bekannten Mittel, durch Reibung zweier Holzstücke aneinander Feuer zu erzeugen, und dem schon sinnreicheren Verfahren der Dakota-Indianer, durch schnelle Drehung eines zugespitzten Stabes mittelst der Sehne eines Bogens die zwei Widerlagen des Stabes in Brand zu versetzen, bis zu den feinsten Wachszündern unserer civilisirten Tage ist überall die Arbeit die Ursache der entstehenden Wärme. — Umgekehrt wird seit langer Zeit die Wärme zur Vollbringung von Arbeit verwendet; jede Dampfmaschine, jede calorische Maschine gibt uns dafür ausreichenden Beweis.

Der erste, welcher eine Beziehung zwischen der aufgewendeten

- Arbeit und der von ihr erzeugten Wärme zu finden versuchte, war schon vor mehr als 50 Jahren Graf Rumford¹ in München; er liess durch eine Pferde-Maschine einen stumpfen Bohrer auf dem Boden einer in Wasser stehenden Kanone reiben und dadurch das Wasser zum Erstaunen aller Umstehenden in zwei und einer halben Stunde zum Kochen bringen. Aus der aufgewendeten Pferdekraft und der Menge des in jener Zeit erhitzten Wassers berechnete Rumford: durch eine Kraft, welche in einer Secunde 524 Kilogramm einen Meter hoch heben kann, also durch 524 Kilogrammometer oder 7 Pferdekräfte, wurde ein Kilogramm Wasser um 1° Celsius erwärmt, also eine Wärme-Einheit erzeugt. Rumford berücksichtigte hierbei nicht, dass durch die Erwärmung des Wassergefässes und durch Ausstrahlung ein Theil der erzeugten Wärme verloren ging, während ein Theil der aufgewendeten Kraft zur Losreibung von 4145 englischen Gran Erz verwendet wurde; daher ist die seinem Versuch entspringende Zahl von Kilogrammometern zur Erzeugung einer Wärme-Einheit zu gross.

Nicht lange nach Rumford zeigte Davy² sogar, dass durch Reibung zweier Eisstücke aneinander Wärme entstehe. Dies und den Versuch von Mousson, durch Zusammenpressen von Eis Wärme zu erzeugen, hält man nun für besonders kostbare Beweise gegen die Stofftheorie der Wärme; als ob in Eis von einigen Graden Kälte keine Wärme mehr sein könnte, die durch Druck frei werden muss; man legt doch selbst den absoluten Nullpunct erst 273° unter den Eispunct. — Wenn wirklich die hier und überhaupt bei der Reibung entstehende Wärme Nichts, wie verwandelte Arbeit wäre, so sehen wir nicht ein, warum nach Versuchen Becquerel's³ bei der Reibung einer glatten an einer rauhen Fläche die letzte mehr erwärmt wird, als die erste, da man hier doch nicht von Absorption der Wärmestrahlen sprechen kann. Nein, dieser Versuch zeigt gerade, dass die Reibungswärme dem Zusammendrücken der ergriffenen Hervorragungen zu verdanken ist, dass also unsere frühere Erklärung derselben richtig ist.

Der weitere Fortschritt in dem Gebiete des Zusammenhangs

1 *Rumford*, Philosophical Transactions, T. 18, p. 283.

2 *Davy*, Elements of chemical Philosophy.

3 *Becquerel*, Annales de Chimie et de Physique, B. 70, S. 324.

von Wärme und Arbeit, den auch die geläuterte Stofftheorie anerkennt und erklärt, wurde durch eine Schrift Carnot's¹ zum Stillstand gebracht. Carnot suchte in derselben darzuthun, dass durch Wärme nur dann eine Arbeit geleistet wird, wenn eine dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergehe, wie in der Dampfmaschine vom Heerde zum Condensator. In diesem Uebergang und nicht in dem Verbrauch von Wärme sucht Carnot die Ursache der Erzeugung von Arbeit. Denn er sagt ausdrücklich, die Quantität der Wärme werde bei der Erzeugung von Arbeit nicht vermindert, keine Spur von Wärme ginge verloren; wolle man dies Letztere annehmen, so würde man die ganze Theorie der Wärme umstossen. So stark war damals noch die Idee von der Existenz eines eigenen Wärmestoffs, der unter allen Umständen Wärme bleiben muss, zwar einmal verborgen sein kann, aber als Wärme unvernichtbar gedacht wurde. Gewiss hat die Eingefleischtheit dieser Idee dazu beigetragen, dass weitere Untersuchungen über die Beziehung zwischen Wärme und Arbeit unterlassen wurden.

Erst 1842 machte der deutsche Arzt Mayer² aus Heilbronn, indem er Wasser durch Schütteln von 12° C. auf 13° C. erwärmte, darauf aufmerksam, dass eine bestimmte Grösse von Arbeit, wenn sie nichts Anderes vollbringe, eine bestimmte Wärmemenge erzeugen, und dass umgekehrt eine gegebene Wärmemenge, etwa unter dem Kessel einer Dampfmaschine, nur eine begrenzte mechanische Wirkung hervorrufen könne: im ersten Falle, folgerte er, wird Arbeit verbraucht, und an ihrer Stelle erscheint Wärme; im zweiten Falle wird Wärme nicht bloss in einen andern Stoff übergeführt, sondern auch verzehrt, so dass sie als Wärme verschwunden ist. Daraus zog Mayer zuerst den Schluss: wird durch Arbeit Wärme erzeugt, so ist die Arbeit in Wärme verwandelt worden; wird durch Wärme Arbeit hervorgebracht, so ist sie in Arbeit verwandelt worden. — Also nicht bloss die Ausbildung der neuen Wissenschaft, der mechanischen Wärmetheorie, wird vorwiegend von deutschen Forschern besorgt, sondern auch ihre Grundlage ist einem deutschen Manne zu verdanken.

1 Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. 1824.

2 Mayer, *Liebig's Annalen der Physik und Chemie*, Mai 1842.

Vom Jahre 1843 an bemächtigte sich der Engländer Joule¹ dieser Grundidee und machte zum Beweis derselben eine zahlreiche Reihe höchst sinnreich ausgedachter Versuche, die auch die Zahlengrundlage lieferten. Er liess Wasser durch enge Röhren strömen, er rieb mittelst fallenden Gewichten zwei gusseiserne Platten in einem mit Quecksilber gefüllten Gefässe aneinander, er liess durch eine ähnliche Vorrichtung messingene Arme einer stehenden Achse durch Wasser, gusseiserne Arme durch Quecksilber schlagen, er pumpte Luft in einen kupfernen Behälter, der in einem Calorimeter stand, berücksichtigte überall die Wärmeverluste, welche durch Ausstrahlung, Ausdehnung der verwendeten Stoffe und Erwärmung der Gefässe entstand und fand bei den verschiedenartigsten Versuchen immer dasselbe Resultat: Wenn Arbeit keine äussere Wirkung hervorbringen kann, wenn sie also für die Aussenwelt als Arbeit verloren geht, bringt sie immer Wärme hervor; und zwar erzeugt eine Arbeit von 424 Kilogrammometern oder von $5\frac{1}{2}$ Pferdekraften dann immer eine Wärme-Einheit, d. i. soviel Wärme, als nöthig ist, um die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 1° C. zu erhöhen.

Joule suchte auch die Umkehrung dieses Satzes durch Versuche zu beweisen. Er liess aus einem Gefäss voll comprimierter Luft von bestimmter, gemessener Spannung die Luft in ein anderes Gefäss, das unter dem Luftdruck stand, oder in die freie Luft strömen. Es zeigte sich dann, wie schon früher betrachtet, eine Temperaturerniedrigung von bestimmter Grösse, durch welche eine bestimmte Arbeit, Ueberwindung des äusseren Luftdruckes geleistet wurde. Es ergab sich durch einfache Rechnung, dass jede verschwundene Wärme-Einheit dabei eine der obigen Zahl nahe kommende Arbeit geleistet hatte. Konnte aber die ausströmende Luft keine Arbeit leisten, strömte sie in den luftleeren Raum, so ergab sich keine Temperatur-Erniedrigung. — Noch directere Versuche stellte Hirn in Logelbach² an Dampfmaschinen an. Er zeigte, dass das Condensationswasser der Dampfmaschine weniger Wärme enthält, als, abzüglich der Verluste, auf dem Heerde entwickelt

¹ Joule, Philosophical Transactions 1850. Philosophical Magazin, Band 23, 26, 27, 31 u. s. w.

² Hirn, Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur, présentées à la société de physique de Berlin. Paris 1858.

wird, dass also zur Leistung der Dampfmaschinenarbeit Wärme verbraucht wird und zwar auch wieder eine Wärme-Einheit für eine der obigen Zahl nahe kommende Arbeit. Endlich wusste man seit langer Zeit, dass Luft, die sich ausdehnen kann, 1,41 mal mehr Wärme zu einer bestimmten Temperaturerhöhung nöthig hat, als abgeschlossene Luft; man musste daraus schliessen, dass die $\frac{41}{100}$ der Wärmemenge zur Ausdehnung also zur Ueberwindung des äusseren Luftdrucks, dessen Grösse man ja kennt, verbraucht werden. Daraus konnte man berechnen (Person und Redtenbacher), welche Arbeit eine Wärme-Einheit zu leisten im Stande ist und fand ebenfalls die angeführte Zahl. So ergab sich denn mit aller Bestimmtheit die Umkehrung: Wenn durch Wärme Arbeit geleistet wird, so bringt eine Wärme-Einheit, vorausgesetzt, dass bei ihrer Einwirkung Nichts von ihr verloren geht, immer eine Arbeit von 424 Kilogrammometern hervor.

Weil also Arbeit in Wärme und Wärme in Arbeit in ganz bestimmten, unter den verschiedensten Umständen ganz gleichen Mengenverhältnissen übergeht, so schloss man: Wärme und Arbeit sind äquivalent und nannte die Grösse 424 Kilogrammometer das mechanische Äquivalent der Wärme-Einheit, woraus sich umgekehrt ergibt, dass das Wärme- oder calorische Äquivalent der Arbeit-Einheit gleich $\frac{1}{424}$ Wärme-Einheit ist, d. h. dass durch die Arbeit von 1 Kilogrammometer $\frac{1}{424}$ Wärme-Einheit erzeugt werden oder $\frac{1}{424}$ Kilogramm Wasser um 1° erwärmt werden kann. Es wurde schon früher gezeigt, dass dieser Satz auch der Aetherlehre entspricht; denn nach ihr ist Erwärmung nichts Anderes, als Aetherverdichtung, und Abkühlung ist Aetherverdünnung. Jeder bestimmten Aetherverdichtung entspricht aber eine bestimmte Zunahme, jeder Aetherverdünnung eine verhältnissmässige Abnahme der abstossenden Kraft. Die gesammten Erfolge der neuen physikalischen Wissenschaft, die auf dem Boden des Satzes von der Äquivalenz der Wärme und Arbeit erbaut wurde, widersprechen also der geläuterten Stoffanschauung nicht, obwohl Joule sofort aus seinen Versuchen und den diesen entquollenen Zahlen die Schlüsse zog, dass die Wärme nicht ein Stoff, sondern ein mechanischer Effect sei und besonders die Wärme der Luftarten in der lebendigen Kraft ihrer Theilchen bestehe.

Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie.

§. 49. Des Satzes: Wärme und Arbeit sind äquivalent, bemächtigte sich der schöpferische Geist einiger Physiker; er war durch Versuche so scharf bewiesen, dass er nicht mehr angezweifelt werden konnte. In den Ruhm, auf seinem Boden ein neues wissenschaftliches Gebäude seit 1850 aufgeführt zu haben, theilen sich Deutsche und Engländer. Von den letzteren waren es Macquorn Rankine und Thomson, die fast gleichzeitig mit Clausius die neue Wissenschaft in Angriff nahmen. Letzterer entwickelt eine ganz besonders hervorragende Thätigkeit; denn seit jener Zeit ist fast kein Jahrgang der physikalischen Zeitschrift „Poggendorff's Annalen“ erschienen, der nicht eine neue bahnbrechende Arbeit dieses genialen Forschers enthielte. Den Satz von der Aequivalenz der Wärme und Arbeit sprach derselbe folgendermassen aus: In allen Fällen, wo durch Wärme Arbeit entsteht, wird eine der erzeugten Arbeit proportionale Wärmemenge verbraucht und umgekehrt kann durch Verbrauch einer ebenso grossen Arbeit dieselbe Wärmemenge erzeugt werden. Dieser Satz heisst jetzt in der Physik: Der erste Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie. Zur Erzeugung einer Arbeit-Einheit, zur Hebung von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter, ist nach dem Vorausgehenden $\frac{1}{424}$ Wärme-Einheit nöthig; die mechanische Wärmetheorie bezeichnet diesen Bruch mit A . Soll nun ein Körper die Arbeit W leisten, wie z. B. wenn eine Portion Luft durch Erwärmung den Kolben einer calorischen Maschine vor sich her schiebt, oder wenn ein sich ausdehnender Körper die ganze Luftsäule über sich um den Betrag seiner Ausdehnung hebt, so verbraucht er für diese Arbeit W , die er in seiner Umgebung, ausserhalb seiner selbst, vollbringt, die Wärmemenge $A \cdot W$. Daher muss dem Körper zur Leistung dieser Arbeit eine Quantität Wärme Q zugeführt werden, die gleich $A \cdot W$ ist. Daraus folgt die Gleichung

$$Q = A \cdot W.$$

Clausius¹ nennt die Arbeit, die der Körper in seiner Umgebung vollbringt und welche die eigentlich nutzbare Arbeit gewöhnlich ist,

¹ Clausius, Sammlung v. Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie.

äussere Arbeit und die für dieselbe nöthige Wärmemenge A . W das äussere Werk oder äussere Ergon.¹

Wenn aber ein Körper durch ihm zugeführte Wärme äussere Arbeit leistet, so wird er gewöhnlich selbst auch geändert. 1. Es wird seine Temperatur erhöht oder die Menge der in ihm enthaltenen freien Wärme vermehrt; die hierzu nothwendige Wärme nennt Clausius den Wärme-Inhalt des Körpers. 2. Der innere Zusammenhang der Theilchen des Körpers erfährt eine Aenderung, die Theilchen ändern ihre Stellung und Entfernung. Zur Verschiebung jedes Massentheilchens ist aber Arbeit erforderlich. Die Arbeit zur Verschiebung aller Massentheilchen, welche bei der Erwärmung eines Körpers vor sich geht, nennt Clausius die innere Arbeit und die für sie nothwendige Wärmemenge den Werkinhalt oder das innere Werk. Der Wärme-Inhalt und der Werk-Inhalt stehen in einem solchen Zusammenhang, dass eine Aenderung des einen mit einer Aenderung des andern zusammenhängt, dass beide z. B. gleichzeitig gleich Null werden. Dies ist der Fall, wenn ein Körper bei der Vollbringung einer äusseren Arbeit wieder in seinen Anfangszustand zurückkehrt, wenn er also seine anfängliche Temperatur und die anfängliche Anordnung seiner Molecüle wieder annimmt. Dann muss er jedenfalls bei der Rückkehr seine Temperatur ebenso viel erniedrigt haben, als er sie anfangs erhöhte. Seine Theilchen müssen beim Rückgang gerade die entgegengesetzten Bewegungen machen, als beim Vorangang; es müssen daher ihre Geschwindigkeiten als negativ angesehen werden, wenn man sie vorher als positiv bezeichnete; da die Zahl der Theilchen und die absolute Grösse ihres Weges beim Rückgang genau dieselbe ist, als beim Vorangang, so muss die Arbeit für den Rückgang die für den Vorangang gerade aufheben. Einen solchen Process, in welchem alle vorangehenden Aenderungen eines Körpers durch wirkungsgleiche Aenderungen im Rückgang aufgehoben werden, wodurch der Körper ganz wieder in seinen Anfangszustand zurückkehrt, nennt Clausius einen Kreisprocess. Bei einem Kreisprocess ist also der Wärme-Inhalt und der Werk-Inhalt eines Körpers, also auch die Summe der beiden, gleich Null.

1 *Clausius*, Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärme-Theorie. — Neueste Schrift, für deren Zusendung ich hiermit verbindlichst danke.

Da, wie dieses Beispiel zeigt, Wärme-Inhalt und Werk-Inhalt in dem innigsten Zusammenhang stehen, so hat man sie in der mathematischen Darstellung des ersten Grundsatzes zusammengefasst und ihre Summe mit U bezeichnet. Clausius nennt nach Rankine's Vorschlag diese Summe die Energie des Körpers. Die Energie U ist also diejenige Wärmemenge, welche ein Körper zu seiner Erwärmung und zur Aenderung seines inneren Zusammenhangs verbraucht. Sie ist bei einem Kreisprocess gleich Null. Dann nur ist auch die angeführte Gleichung richtig. In jedem andern Fall dagegen wird die einem Körper zugeführte Wärme-Quantität Q nicht bloss für das äussere Werk, sondern auch für die Energie verbraucht. Daher ist die mathematische Fassung des ersten Grundsatzes der mechanischen Wärmetheorie:

$$Q = U + A. W.$$

Um diesem Ausdruck mehr das Gepräge der Veränderlichkeit zu geben und die Mittel der höheren Analysis auf ihn anwenden zu können, muss man nur eine unendlich kleine Zustand-Aenderung des Körpers ins Auge fassen; dieser entspricht dann die Differential-Gleichung

$$dQ = dU + A. dW.$$

Sehen wir die obige Gleichung als die Urgleichung dieser Differentialgleichung an, so kann dieselbe einen umfassenderen Sinn erhalten, wenn man die Grenzen der veränderlichen Grössen gehörig wählt. Es kann dann Q die dem Körper im Laufe seines ganzen Daseins zugeführte Wärmemenge bedeuten, U die Summe seines gesammten Wärmeinhaltes und seines gesammten Werkinhaltes und $A. W$ die Summe aller je von dem Körper vollbrachten äusseren Werke.

Fasst man das ganze Weltall ins Auge, so kann bei gehöriger Feststellung der Bedeutung jener Buchstaben die Urgleichung auch für dieses gelten. Nur ist dann kein äusseres Werk mehr möglich, da es ausserhalb des Weltalls Nichts gibt. Demnach muss in der Gleichung der Ausdruck $A. W$ wegfallen, so dass nur bleibt

$$Q = U.$$

Q ist dann die dem ganzen Weltall je zugeführte d. h. die gesammte in ihm enthaltene Wärme-Menge. Mag man die Wärme als Stoff oder als Bewegung auffassen, nach dem Princip der „Er-

haltung der Kraft“ ist weder eine Vernichtung von vorhandener, noch eine Schöpfung nicht vorhandener Wärme möglich. Sonach ist Q eine constante Grösse. Die obige Gleichung kann also auch heissen

$$U = \text{Const.}$$

oder die Energie des Weltalls ist constant.

Allerdings können die beiden Glieder der Energie, der Wärme-Inhalt und der Werk-Inhalt des Weltalls wechselweise sich vergrössern und verkleinern oder gar das eine allmählig in das andere übergehen, die Summe beider muss aber die nämliche bleiben.

§. 50. Wie schon früher angeführt, hatte Carnot eine andere Anschauung über die Arbeit, welche die Wärme vollbringt. Weil er von der Ansicht ausging, dass Wärme unvernichtbar sei als Wärme, konnte er nicht zu der Einsicht gelangen, dass bei Arbeit Wärme verbraucht werde. Dagegen fand er, dass immer, wo Wärme Arbeit leistet, ein Uebergang von Wärme aus einem heisseren zu einem kühleren Körper stattfinde, z. B. bei der Dampfmaschine vom Heerde zum Condensator. Er stellte daher den Satz auf, dass die Grösse der erzeugten Arbeit zu dem gleichzeitig stattfindenden Wärmeübergange in einer gewissen allgemein giltigen Beziehung stehen müsse, die von der Natur des die Arbeit und den Wärme-Uebergang vermittelnden Körpers unabhängig, aber von der Quantität der übergegangenen Wärme und den Temperaturen der Körper, zwischen denen die Wärme übergeht, abhängig sei. Während also jetzt nach der mechanischen Wärmetheorie die Arbeit der Wärme durch und aus dem Verbrauch von Wärme entsteht, sah Carnot nach diesem Satze die Entstehung der Arbeit in dem Uebergang von Wärme. Dass die Arbeit durch Uebergang entsteht, das musste die mechanische Wärmetheorie verwerfen. Doch ist auch sofort klar, dass Wärme für sich allein keine Arbeit ist, dass sie erst in Arbeit verwandelt werden muss. Diese Verwandlung kann auch nicht von selbst geschehen; es ist dafür nöthig, dass eine entsprechende Menge von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehe.

Clausius sprach es daher schon in seiner ersten Abhandlung 1850 aus, es sei nicht nöthig, den ganzen Carnot'schen Satz zu verwerfen; man müsse sogar mit Carnot annehmen, dass das Maximum der Arbeit nur von der Menge der übergeführten

Wärme und von den Temperaturen der betreffenden Körper und nicht von der Natur des vermittelnden Stoffes abhängen. Den Beweis für diesen veränderten Carnot'schen Satz konnte Clausius nicht mehr aus der Unvernichtbarkeit des Wärmestoffs ziehen, wie Carnot, da ja gerade die mechanische Wärmetheorie die Verwandlung der Wärme in Arbeit, also den Verlust von Wärme als solcher zum ersten Grundsatz hat. Der Beweis musste mit Hilfe eines andern Satzes geführt werden. Clausius stellte zu diesem Zweck das Axiom auf: Die Wärme kann nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen oder in anderer Form: es kann nie Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen, wenn nicht gleichzeitig eine andere damit zusammenhängende Aenderung eintritt.

Den mittelst dieses Axioms bewiesenen modificirten Satz von Carnot sprach dann Clausius in folgender Form aus: „In allen Fällen, wo eine Wärmemenge in Arbeit verwandelt wird, und der diese Verwandlung vermittelnde Körper sich schliesslich wieder in seinem Anfangszustande befindet, muss zugleich eine andere Wärmemenge aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen, und die Grösse der letzteren Wärmemenge im Verhältniss zur ersteren ist nur von den Temperaturen der beiden Körper, zwischen welchen sie übergeht, und nicht von der Art des vermittelnden Körpers abhängig.“ Dieser Satz wurde der zweite Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie genannt.

Das Axiom sowohl, als der aus ihm hervorgegangene Satz haben nun manche Anfechtungen erfahren und eine ganze Literatur hervorgerufen. Von den acht Abhandlungen von Clausius über die mechanische Wärmetheorie beschäftigen sich fünf mit der Vertheidigung und Erklärung des Axioms, sowie mit der Umformung, Erweiterung und mathematischen Fassung des zweiten Hauptsatzes. Nothwendig ist derselbe; denn der erste Hauptsatz drückt nur das nackte Factum der Verwandlung von Wärme in Arbeit oder umgekehrt aus. Der zweite aber giebt an, unter welchen Umständen dies geschieht, dass hierzu auch ein Uebergang von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper geschehen muss. Diesen Uebergang nennt Clausius auch eine Verwandlung, und zwar eine Verwandlung von Wärme von höherer Temperatur in solche von

niederer Temperatur. Demnach drückt der zweite Hauptsatz eine Beziehung zwischen zwei Arten von Verwandlungen aus, zwischen der Verwandlung von Arbeit in Wärme und der Verwandlung einer Wärme in eine andere, zwei Verwandlungen, welche sich einander bedingen, so dass die eine für die andere gesetzt werden kann, dass sie gleichwerthig, äquivalent sind. Man nennt daher den zweiten Hauptsatz auch den Satz von der Aequivalenz der Verwandlungen.

Clausius sucht den Werth dieser Verwandlungen mathematisch zu erfassen; so findet er den Aequivalenzwerth der Verwandlung von Arbeit in die Wärmemenge Q von der Temperatur t abhängig von Q und einer Funktion von t , die er mit T bezeichnet; also ist der Aequivalenzwerth dieser Verwandlungen $= \frac{Q}{T}$

Daraus ergibt sich eine schärfere Form für den Satz von der Aequivalenz der Verwandlungen:

„Nennt man zwei Verwandlungen, welche sich, ohne dazu eine sonstige bleibende Veränderung zu erfordern, gegenseitig ersetzen können, äquivalent, so hat die Entstehung der Wärmemenge Q von der Temperatur t , aus Arbeit den Aequivalenzwerth

$$\frac{Q}{T},$$

und der Uebergang der Wärmemenge Q von der Temperatur t , zur Temperatur t_2 den Aequivalenzwerth

$$\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1},$$

worin T , T_1 und T_2 Temperaturfunktionen bedeuten, die von der Art des Processes unabhängig sind.“ Später thut Clausius dar, dass diese drei Funktionen den absoluten Temperaturen gleich sind.

Eine unendlich kleine Verwandlung hat demnach den Aequivalenzwerth

$$\frac{dQ}{T}$$

und eine unendliche Reihe allmähig in einander übergehender Verwandlungen, wie z. B. bei der allmähigen Erwärmung eines Körpers zusammen den Werth

$$\int \frac{dQ}{T}.$$

Wird ein umkehrbarer Kreisprocess ins Auge gefasst, d. i. ein solcher, in welchem jede Verwandlung nach vorwärts durch eine ganz gleichwerthige Verwandlung nach rückwärts compensirt wird, so muss die algebraische Summe aller Verwandlungen, also obiges Integral gleich Null sein. Ist aber von einem nicht umkehrbaren Kreisprocess die Rede, in welchem wieder Verwandlungen von Arbeit in Wärme und von heisserer Wärme in kühlere Wärme vorkommen und durch entgegengesetzte Verwandlungen nicht ganz compensirt werden, so lässt sich zunächst darthun, dass die Summe nicht negativ sein kann. Denn Verwandlungen von kühlerer Wärme in heissere widersprechen dem Axiom und die Verwandlungen von Wärme in Arbeit heben nur die entgegengesetzten auf. Hat man also die Verwandlung von Wärme in Arbeit und von heisserer in kühlere Wärme, also von Wärme-Abgabe als positiv genommen, so muss bei der Summirung ein positiver Werth bleiben. Versteht man dagegen unter dQ nicht abgegebene, sondern aufgenommene Wärme, so muss sich das Zeichen wieder umkehren; folglich ist in diesem Sinne das obige Integral negativ und ist demnach für Kreisprocesse der mathematische Ausdruck des zweiten Hauptsatzes

$$\int \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Lassen wir dagegen dQ die Bedeutung eines abgegebenen Wärme-Elementes, so lässt sich der zweite Hauptsatz für Kreisprocesse auch so aussprechen:

Die algebraische Summe aller in einem Kreisprocesse vorkommenden Verwandlungen kann nur positiv oder als Grenzfall Null sein.

Der Satz ist bis hierher blos für Verwandlung von einer Wärme in eine andere und von äusserer Arbeit in Wärme dargethan worden. Clausius will in seiner sechsten Abhandlung zeigen, dass er auch Anwendung finden kann, wenn die innere Arbeit und ihre Verwandlung aus oder in Wärme zu behandeln ist. Die innere Arbeit aber, mag sie nun eine Ausdehnung des Körpers, eine Veränderung des Aggregatzustandes, eine Erzeugung von Electricität, ja sogar eine chemische Veränderung zur Folge haben, ist immer eine Aenderung in der Anordnung der Molecüle, in der Zertheilung des Körpers. Den Grad der Zertheilung eines Körpers nennt Clausius die Disgregation des Körpers.

Um nun in den zweiten Hauptsatz auch die Verwandlungen, welche die Disgregation betreffen, aufnehmen und diesen dann auf alle Gebiete der Physik anwenden zu können, muss die Geltung des Satzes auch für derartige Verwandlungen nachgewiesen werden. Clausius legt diesem Beweis das Gesetz zu Grunde: die mechanische Arbeit, welche die Wärme bei irgend einer Anordnungsänderung eines Körpers thun kann, ist proportional der absoluten Temperatur, bei welcher die Aenderung geschieht. Dies Gesetz ist allerdings hypothetisch, der Grundanschauung der Schwingungstheorie entnommen, entspricht aber auch der Aethertheorie, sowie der Erfahrung, braucht daher von keiner Seite bekämpft zu werden. Auf Grund dieses Gesetzes weist Clausius die Geltung des zweiten Hauptsatzes auch für Anordnungsänderungen der Körper durch Wärme nach und spricht ihn dafür folgendermassen aus:

„Wenn man für die bei der absoluten Temperatur T stattfindende Entstehung der Wärmemenge Q aus Arbeit den Aequivalenzwerth $\frac{Q}{T}$ annimmt, so lässt sich als zweite dazugehörige Verwandlung eine Grösse einführen, welche sich auf die Anordnungsänderung des Körpers bezieht, und durch den Anfangs- und Endzustand des Körpers vollständig bestimmt ist, und welche die Bedingung erfüllt, dass bei jeder umkehrbaren Zustandsänderung die algebraische Summe der Verwandlungen gleich Null ist.“

Sowie nun früher die Energie in den Wärme-Inhalt und Werk-Inhalt zerlegt wurde, so kann bei den Verwandlungswerthen der inneren Eigenschaften derjenige der inneren Wärme von demjenigen der Anordnung der Körpertheilchen geschieden werden, von der Disgregation. Sie lassen sich aber ebensogut, wie jene beiden zusammenfassen und gehören zusammen, da jede Verwandlung der inneren Wärme mit einer Aenderung der Disgregation verbunden ist. Clausius schlägt für die Summe dieser beiden Verwandlungswerthe, oder für den Verwandlungsinhalt den Namen Entropie vor. In seiner letzten Abhandlung vom April 1865 schliesst er mit einer Anwendung des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen

auf das Weltall; da nämlich die Verwandlung von äusserer Arbeit in Wärme, sowie die Ueberführung von höherer Wärme in niedrigere zusammen mehr betragen, als die umgekehrte Verwandlung von Wärme in Arbeit, und da sowohl ein Theil der durch Verwandlung, als ein Theil der durch Ueberführung gewonnenen Wärme in den betreffenden Körpern in innere Arbeit, in Disgregation, umgesetzt wird, so muss die Summe des Verwandlungswerthes der inneren Wärme und der Disgregation immer mehr wachsen oder: die Entropie des Weltalls strebt einem Maximum zu. Clausius verspricht diesen und den entsprechenden Satz über die Energie des Weltalls noch näher zu behandeln.

Erfolge der mechanischen Wärmetheorie.

§. 51. Die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie wurden von uns ausführlicher in möglichst allgemein fasslicher Weise entwickelt, weil es gewiss für jeden Menschen von allgemeiner Bildung von Interesse ist, die Grundsätze einer in verhältnissmässig kurzer Zeit an Erfolgen so reichen Wissenschaft kennen zu lernen. Wie diese Erfolge errungen wurden, können wir nur andeuten; denjenigen, der sich näher dafür interessirt, müssen wir auf die Sammlung von Abhandlungen von Clausius und auf die mechanische Wärmetheorie von Zeuner verweisen. Dort wurden die in Gleichungen, wie wir sie oben sahen, gefassten zwei Hauptsätze der Theorie mit den ebenfalls in mathematischer Form dargestellten Grundeigenschaften der Gase und Dämpfe in Verbindung gebracht, die Mittel der höheren Analysis auf die so erhaltenen Grössenausdrücke angewendet und dadurch Resultate erhalten, aus denen viele Wärme-Eigenschaften der Gase und Dämpfe sich ergaben. In früheren Abschnitten wurden einige der wichtigeren schon angeführt. Interessant war, dass einige der Resultate hergebrachten Ansichten widersprachen. So ergab sich z. B., dass die specifische Wärme der Gase constant sei, während man nach Versuchen von de la Roche und Berard das Gegentheil glaubte, aber durch genauere Versuche von Regnault die Richtigkeit des theoretischen Resultates erfuhr. — Weiter hielt man das Mariotte- und Gay-Lussac'sche Gesetz auch für gültig für gesättigten Dampf und gründete darauf sogar die Pambour'sche Dampfmaschinen-Theorie,

während die mechanische Wärmetheorie das Gegentheil nachwies und noch dazu zeigte, dass bei der Expansion des Dampfes derselbe sich theilweise condensire, was ebenfalls einer Annahme von Pambour widerspricht, aber durch die Versuche von Hirn bewiesen ist. — Ausser einer grossen Anzahl von Sätzen über die Eigenschaften der Gase und Dämpfe wurde auf dem Boden der mechanischen Wärmetheorie auch eine neue Theorie der Dampfmaschinen erbaut, die das merkwürdige Resultat ergab, dass selbst bei guten Dampfmaschinen nur wenige Procente der in der aufgewendeten Wärme enthaltenen Arbeit in wirklichen Nutzeffect verwandelt werden. Auch Theorien der calorischen und der Gas-Maschine gründen sich auf die Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie.

Wenn somit im Gebiete der luftförmigen Körper die mechanische Wärmetheorie schon höchst Werthvolles in verhältnissmässig kurzer Zeit geleistet hat, so sind die Erfolge auf dem Felde der flüssigen und festen Körper noch sehr spärlich, und unabsehbar weite Gebiete sind noch unbebaut. Man hat zwar eine Ahnung, dass der zweite Hauptsatz noch Grosses leisten kann. Möge den Schöpfern der mechanischen Wärmetheorie ein recht langes und recht heiteres Dasein verliehen sein, dann wird die Wissenschaft gewiss noch um manche Perle reicher.

Das Wesen der Wärme im Sinne der mechanischen Wärmetheorie.

§. 52. Der Grundsatz der Aequivalenz von Wärme und Arbeit führte schon Joule zu der Annahme, dass die Körperwärme eine Bewegung der Massentheilchen sei; von derselben Ansicht gingen die übrigen Begründer der mechanischen Wärmetheorie aus; denn, sagte man, die Arbeit ist eine Bewegung von Massen, folglich muss die Körperwärme, welche in Arbeit übergehen und aus Arbeit entstehen kann, auch eine Bewegung sein, nicht aber von Massen, sondern von den kleinsten Massentheilchen, von den Atomen und Molecülen, und zwar muss diese Bewegung, da die übrigen, selbst geschärftesten Sinne Nichts von derselben wahrnehmen können, eine höchst feine sein. Clausius zwar, der eigentliche Ausbildner der mechanischen Wärmetheorie, liess bei seinen Arbei-

ten über dieselbe anfangs durchaus nicht erkennen, welche Anschauung von jener Bewegung der kleinsten Massentheilchen er sich gebildet hatte; er machte nur die Annahme, dass überhaupt eine Bewegung der Theilchen bestehe, dass die Wärme das Maass der lebendigen Kraft derselben sei, und dass der erste Grundsatz durch diese Annahme bedingt werde¹. Ja Zeuner, der die Grundzüge jener neuen Wissenschaft im Zusammenhange dargestellt hat, erklärt es sogar für unnöthig, sich einer bestimmten Ansicht über die Art der Wärme-Bewegung anzuschliessen, wenn man die Theorie studiren wolle; sie entspreche sowohl der Hypothese von Clausius, als der von Redtenbacher; wir sahen, dass sie selbst einer verbesserten Stoffanschauung nicht widerspricht. Durch die allgemeine Aufmerksamkeit aber, welche die schönen Resultate der Theorie erweckten, wurde das Bestreben der Physiker gesteigert, die Wärme-Erscheinungen durch eine Bewegung der kleinsten Theilchen zu erklären. Es erschienen Rankine's Werk, das die Wärme in Molecular-Wirbelbewegungen sieht, die sich den Aetherhüllen mittheilen, Redtenbacher's Dynamidensystem und endlich Krönig's Theorie der Gase.

Krönig's Theorie der Gase².

§ 53. In dieser kleinen, aber in der Geschichte der Physik wichtigen Arbeit wird zuerst die Hypothese aufgestellt: Die Gase bestehen aus Atomen, die sich wie feste, vollkommen elastische Kugeln verhalten, welche sich mit gewissen Geschwindigkeiten innerhalb eines leeren Raumes bewegen. Ein Gasatom bewegt sich solange geradlinig mit ungeänderter Geschwindigkeit fort, bis es gegen ein anderes Gasatom oder gegen eine feste oder flüssige Wand stösst. Durch diesen Stoss übt jedes Gasatom auf die Wand einen Druck aus. Ist das Gas doppelt, drei, vier u. s. w. mal so dicht, so fliegen auch in jedem Zeitpunkt zwei, drei, vier u. s. w. mal mehr Atome gegen die Wand, also ist auch ihr Druck zwei, drei, vier u. s. w. mal so gross. So erklärt sich durch jene Hypothese das Mariotte'sche Gesetz.

¹ Clausius, Poggendorff's Annalen, Bd. 79, S. 374.

² Poggendorff's Annalen, Bd. 99, S. 315.

Die absolute Temperatur ist die lebendige Kraft eines Gasatoms, d. i. das Product seiner Masse mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit; bei -273° , bei absolutem Stillstand aller Atome, übt das Gas keinen Druck aus. Die Kraft eines Stosses ist aber der lebendigen Kraft proportional, daher wächst bei gleichem Volumen der Druck, wie die Temperatur, was das Gay-Lussac'sche Gesetz erklärt. Ist die Temperatur und der Druck verschiedener Gase gleich gross, so ist dies nur möglich, wenn gleiche Volumina gleich viel Gasatome enthalten. Da aber die Gasatome verschiedene Massen haben, unter sonst gleichen Umständen jedoch ihre lebendigen Kräfte einander gleich sein müssen, so müssen ihre Geschwindigkeiten bei gleicher Temperatur verschieden sein. So hat z. B. das Sauerstoffatom 16mal mehr Masse, als das Wasserstoffatom; damit beide nun gleiche Temperatur oder gleiche lebendige Kraft haben, muss das Wasserstoffatom 4 mal schneller fliegen, als das Sauerstoffatom.

Man sollte glauben, dass heissere Gase stärker auf die Erde drücken müssten, als weniger heisse. Dies widerlegt Krönig auf einfache Weise. Trifft ein Gasatom die Erde mit grösserer Geschwindigkeit, so wird es auch mit grösserer zurückgeworfen; es steigt deshalb höher und braucht dazu mehr Zeit, die sich durch die ebenso lange Rückkehr verdoppelt. Daher wird ein wärmeres Gasatom ebenso viel mal weniger in gewisser Zeit die Erde treffen, als es wegen seiner grösseren Geschwindigkeit stärker drückt.

Aus der grösseren Geschwindigkeit der leichteren Gase folgt, was Krönig gar nicht angibt, ihre grössere Diffussion; ebenso folgt höchst einfach, warum leichte in schweren aufsteigen müssen.

Weil in gleichen Volumen verschiedener Gase gleich viel Atome enthalten sind, so müssen sie bei gleicher Temperatur d. i. bei gleicher lebendigen Kraft der einzelnen Atome auch gleich grosse Summen der lebendigen Kräfte d. i. gleiche Wärmemengen enthalten. Ebenso muss durch eine bestimmte lebendige Kraft diejenige gleicher Gasvolumen um gleich viel erhöht werden; also haben gleiche Gasvolumen gleiche Wärme-Capacität.

Die Wärme-Aenderungen bei Raumverminderungen der Gase erklärt Krönig auf folgende Weise: Treiben die wider einen Kolben stossenden Gaskugeln denselben vor sich her, so ist dies die Folge davon, dass sie ihm einen Theil ihrer Bewegung mittheilen, also

von ihrer eigenen Geschwindigkeit verlieren; daher erniedrigt sich die Temperatur eines sich ausdehnenden, arbeitenden Gases. Drückt aber ein Kolben ein Gas zusammen, so müssen die ihm entgegenprallenden Atome mit grösserer Geschwindigkeit zurückgeworfen werden, da er denselben seine Bewegung mittheilt: es muss sich also das Gas erwärmen. Strömt dagegen ein Gas in einen leeren Raum, so müssen die Atome nach dem Gesetze der Trägheit ihre Geschwindigkeit behalten: die Temperatur der in den leeren Raum strömenden Luft ändert sich demnach nicht.

Die Abweichungen im Verhalten der Gase von den Gesetzen sucht Krönig ebenfalls zu erklären, z. B. die Abweichung von dem Mariotte'schen Gesetz. Da die Atome, welche von einer Wand zurückgeworfen werden, theilweise gegen andere ihnen entgegenkommende treffen, so haben sie bald längere, bald kürzere Zeit zu ihrer Rückkehr nöthig. Daraus könnte sich aber nur eine Verschiedenheit des Druckes in verschiedener Zeit ergeben, nicht aber bei grösserer Zusammenpressung ein nicht gleichmässig wachsender Druck. Das ist eben der Haken an dieser Theorie. So reizend die Einfachheit ist, mit der sich selbst ohne Mathematik, wie wir es eben entgegen Krönigs Verfahren gethan haben, die meisten Gesetze der Gase ableiten lassen, so wenig genügt die Theorie, wenn es sich um Feinheiten und Abweichungen von den Gesetzen handelt.

Clausius¹ über die Art der Bewegung, die wir Wärme nennen.

§. 54. Wollte nun Clausius die schönste Frucht seiner Arbeiten, das Wesen der Wärme zuerst als Bewegung dargestellt und theoretisch begründet zu haben, nicht vollständig einbüssen, so musste er die allerdings berechtigte Scheu vor einer, wenn auch nur entfernten Annäherung an die in der Naturforschung so sehr verpönte Speculation a priori überwinden und mit seiner oft angedeuteten Anschauung hervortreten. Aus seiner Abhandlung „über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen“, erfahren wir zunächst, dass er sich schon vor seiner ersten Abhandlung über die mechanische Wärmetheorie eine bestimmte Vorstellung über das

¹ Poggendorff's Annalen, Band 100. S. 353.

Wesen der Wärme gebildet habe. Die Ansicht Krönigs über die Bewegung der Gasatome theilt er vollkommen, zeigt aber, dass dieselben auch eine rotirende Bewegung haben müssen, wenn sie eine fortschreitende besitzen, weil jeder Stoss, ausser dem centralen, neben der fortschreitenden Bewegung des gestossenen Körpers noch eine rotirende desselben erzeugt. Ausserdem glaubt er, auch die Atome eines Gasmolecüls seien innerhalb desselben in Schwingungen begriffen, ja es könne sogar jedes Massenatom noch mit einer Quantität „eines feineren Stoffes“ begabt und dieser in der Nähe desselben beweglich sein. Er zeigt nämlich in einem mathematischen Zusatz der Abhandlung, dass die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Atome einer Gasmasse nicht ausreichend sei, um die in derselben vorhandene Wärme darzustellen, dass die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung nur ungefähr $\frac{6}{10}$ von der in dem Gas überhaupt vorhandenen lebendigen Kraft betrage. Daraus ergibt sich die Nothwendigkeit der Annahme der anderen Bewegungen, die Clausius Bewegungen der Bestandtheile nennt und welche bei einem bestimmten Gase zusammen zur fortschreitenden Bewegung, deren lebendige Kraft der absoluten Temperatur proportional erwiesen wird, in einem constanten Verhältniss stehen werde, weil sonst die fortschreitende Bewegung solche der Bestandtheile oder umgekehrt erzeugen müsse. Man sieht hieraus, wie unter den ausbildenden Händen von Clausius die anziehende Einfachheit der Krönig'schen Theorie verschwindet.

Doch auch durch Clausius sind nicht alle Zweifel beseitigt: Wohin soll denn der Aether gerathen, während die Gasatome mit wüthender Geschwindigkeit durch einander wirbeln? Man kann sein Dasein doch nicht läugnen, weil mit ihm alles Licht verschwinden würde; ist er aber vorhanden, so muss er die Zwischenräume der Molecüle ausfüllen und diese müssen sich durch ihn bewegen und dadurch nothwendig ihre Geschwindigkeit verlieren. Man könnte dann vielleicht einwenden, dass sich der Aether nur in der Nähe der Molecüle befinde; dann ist er also mit denselben in der Art der Redtenbacher'schen Dynamiden in ein Ganzes verschmolzen, ein Theil der hin- und herfliegenden Molecüle; dann haben wir also wieder den leeren Raum zwischen den Molecülen und damit haben wir sowohl das Licht, als die strahlende Wärme im Sinne der Schwingungstheorie verloren. Und wenn er sich in der Nähe

der Molecüle befindet, so haben diese Anziehung in sich; wie können sie dann beim Zusammenstoss wieder auseinander prallen?

Stellen wir uns einmal zwei Räume neben einander, durch eine Wand mit einem Schieber getrennt vor. Der eine Raum sei luftleer, der andere mit verdichteter Luft, wie bei den Joule'schen Einströmversuchen¹ etwa von 30 Atmosphären Spannung, gefüllt. Joule legte einen solchen Apparat in ein Wassercalorimeter und fand, wenn der Schieber geöffnet wurde und die verdichtete Luft in den leeren Raum strömte, entweder gar keine oder nur eine Spur von Temperaturerhöhung. Es ist nun allerdings in der mir vorliegenden Versuchsreihe die Temperatur des luftleeren Raumes nicht angegeben; doch weiss ja Jeder, dass die Toricelli'sche Leere dieselbe Temperatur hat, wie ihre Umgebung, und dass in der Glocke einer Luftpumpe ein sehr empfindliches Thermometer zwar bei jedem Kolbenhub eine geringe Erniedrigung zeigt, aber sofort wieder auf seinen vorigen Stand zurückkehrt. Es hat also der luftleere Raum der Toricelli'schen Leere und der leere Raum der Luftpumpenglocke Wärme ohne Stoff. Nach der mechanischen Wärmetheorie ist die Wärme Bewegung der Stofftheilchen; was ist sie denn in der Leere, wo keine Stofftheilchen sind? Die Aethertheorie weiss es: die Wärme des leeren Raumes ist die Dichte des Aethers derselben. Vielleicht sieht auch die Schwingungstheorie in diesem Aether die Grundlage der Wärme des leeren Raumes und erklärt sie durch die Schwingungen, in welche derselbe durch die Bewegungen der umliegenden Körpertheilchen gesetzt wird. „Allein Aetherschwingungen im leeren Raum geben ja, wie uns die 120⁰ Kälte des Weltraums lehren, nur eine höchst geringe Wärme.“ „Ja, antwortet die Schwingungstheorie, im leeren Weltraum ist der Aether viel dünner, als in den künstlichen Leeren.“ „Also wäre die Wärme von der Dichte des Aethers abhängig; da stehen wir ja direct im Gefilde der Aethertheorie.“ — Sei dem, wie es wolle, der leere Raum des oben angenommenen Apparates hat die Wärme der Umgebung; nach der Schwingungstheorie ist seine Wärme die lebendige Kraft seiner Aetherschwingungen. Oeffnen wir nun den Schieber, so strömt die Luft in den leeren Raum; einen Augenblick später sind es die Bewegungen der Gasatome, welche die Wärme

¹ Joule, Phil. Mag. vol. 26. May 1845.

des Raumes bilden, da sie ihre Geschwindigkeit während und nach dem Einströmen behalten. Was ist aber dann aus den Aetherschwingungen geworden? Sind sie in dem Raume geblieben, so müssen sie doch mit demselben Recht, wie einen Augenblick vorher, Wärme sein, also die Wärme des Raumes verdoppeln; wurden sie aber durch das einströmende Gas nach aussen gedrängt, so müssen sie die Umgebung erwärmen. Keines von beiden Resultaten aber findet statt, denn die Spur von Erhöhung, die Joule manchmal beobachtete, kann nicht in Betracht kommen.

Wollte man dagegen annehmen, der luftleere Raum sei absolut leer, so würde in ihm gar keine Bewegung stattfinden; er müsste also absolut kalt sein und wir hätten hier eine schöne Gelegenheit, die Wahrheit der Behauptung der Bewegungstheorie zu erproben, dass absoluter Mangel an Bewegung den absoluten Nullpunct, — 273^0 erzeuge. Allein der Raum ist warm. — Ein solcher, absolut leerer und daher absolut kalter Raum lässt sich indess wenigstens denken; strömt nun in diesen gedachten Raum ein Gasatom und fliegt darin hin und her, so müsste nach der mechanischen Wärmetheorie der Raum warm sein; denn nach ihr liegt ja die Temperatur nicht in der Zahl der Atome, sondern in der lebendigen Kraft der einzelnen Atome; fliegt also nur ein einziges Atom in dem leeren Raum herum, so muss derselbe, der Masse und Geschwindigkeit des Atoms entsprechend, ebenso warm sein, als wenn Billionen von Atomen darin hin und her fliegen, falls sie nur alle dieselbe Masse und dieselbe Geschwindigkeit haben, wie jenes eine. Man kann auch nicht einwenden, dass die Atome durch ihr Zusammenstossen ihre Geschwindigkeit erhöhen; denn elastische Kugeln, sagt Krönig bei der Erklärung des Mariotte'schen Gesetzes, tauschen beim Zusammenstoss ihre Geschwindigkeiten nur aus. Unserer Folgerung entspricht auch, dass die Bewegungstheorie die beim Zusammendrücken von Gasen entstehende Wärme nicht in der Verdichtung sucht, sondern in der den Atomen mitgetheilten Kolbenbewegung. Während also bei ihr die Temperatur durchaus unabhängig von der Zahl der Atome in jenem Raume ist, steht die Wärmemenge in unmittelbarer Abhängigkeit von derselben, denn sie wird gemessen durch das Product aus der Zahl der Atome in die lebendige Kraft derselben. Wird also die Atomenzahl eines Raumes Billionen Mal grösser, bleibt aber die Masse und Geschwindigkeit der ein-

zernen Atome dieselbe, so ist zwar die Wärmemenge des Raumes Billionen Mal grösser geworden, aber seine Temperatur ist dieselbe geblieben. Nach der mechanischen Wärmetheorie kann demnach die Wärmemenge eines Raumes ins Unendliche vergrössert werden, ohne dass die Temperatur verändert wird, worin gewiss ein Widerspruch liegt.

Die Einfachheit der Krönig'schen Anschauungen geht bei Clausius noch mehr verloren, wenn derselbe den Weg eines Atoms genauer verfolgt und den inneren Unterschied zwischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern festhalten will. Es zeigt sich nämlich dabei, dass die Bewegung der Theilchen zur Erklärung dieses Unterschiedes und der Natur der einzelnen Zustände nicht genügend ist, sondern dass Anziehung und Abstossung zu Hülfe genommen werden müssen. Während also die Aethertheorie jene Unterschiede allein durch diese zwei Molecularkräfte erklärt, braucht die mechanische Wärmetheorie ausser einer Schaar von Bewegungen und eigenthümlichen Bedingungen dieser Bewegungen¹ auch noch die ebenfalls wieder eigenthümlich bedingten Kräfte der Anziehung und Abstossung. Zwar ist in den ersten Abhandlungen von einer Abstossung gar nicht die Rede, so dass Buijs-Ballot² mit Clausius „die Abstossung gern vermeiden und selbst ganz läugnen möchte, sie nun aber doch einmal nicht zu beseitigen vermag.“ Allein Clausius will sie auch durchaus nicht läugnen; in seiner Antwort³ auf Buijs-Ballot's Einwendungen zeigt er, wie man sich die Wirkung der Atomkräfte denken könne: nähern sich zwei Atome einander, so kommen sie endlich „durch die schon aus einiger Entfernung wirkende Anziehungskraft sich so nahe, dass die abstossende Kraft wirksam wird und ein Abprallen der Molecüle stattfindet.“ — Wie sollte wohl auch die Elasticität der Gasatome erklärbar sein, wenn an ihnen keine Abstossung haften würde? Selbst also zur Erklärung der Natur der Gase, wo doch gewiss Raum genug zur Bewegung gegeben ist und gefordert wird, da Clausius die Bedingung stellt, dass das Volumen der Molecüle gegen den ganzen Gasraum verschwinde, kann diese Grundkraft nicht entbehrt werden.

1 *Clausius*, Poggendorff's Annalen. Bd. 100. Seite 358.

2 *Buijs-Ballot*, Ebendasselbst. Bd. 103. S. 244.

3 *Clausius*, Ebendasselbst. Bd. 105. S. 242.

So nöthig aber der mechanischen Wärmetheorie die Kräfte sind, so störend tritt deren Wirkung in das Spiel der Bewegung der Gasatome ein. Entweder gibt man nämlich das Dasein abstossender Aetheratome zwischen den Körperatomen zu oder nicht. Gibt man es nicht zu, so ist überhaupt keine Abstossung denkbar; denn in einem Punkte oder in einem Atom kann man doch nicht zwei einander entgegengesetzt wirkende Kräfte, Anziehung und Abstossung, denken, da sie sich einander vernichten müssten. Ist aber keine Abstossung vorhanden, so müssen sich die Atome einander festhalten, sowie sie einander nahe kommen oder wider einander fliegen, und es ist demnach der gasförmige Zustand zu Ende. Gibt man dagegen den abstossenden Aether zu, so lässt sich allerdings, wie es in §. 13 geschehen ist, darthun, dass bei weiter fortschreitender Annäherung zweier Körperatome die Abstossung stärker wächst, als die Anziehung. Dabei aber unterstützt nach Clausius die immer mehr wachsende Anziehung die eigenthümliche Bewegung der Gasatome zu einander, die ja nach der mechanischen Wärmetheorie sehr heftig ist, (bis 2000 Meter in der Secunde), so dass die allmählig grösser werdende Abstossung jene beiden Wirkungen auch nur sehr allmählig vermindern und endlich überwiegen kann. Kommen sich also die Molecüle einander sehr nahe, so müssen sie sich immer langsamer bewegen und dadurch sowohl ihre Gasnatur, wie ihre Wärme einbüssen. Clausius¹ stellt deshalb an ein vollkommenes Gas die Bedingung, der Einfluss der Molecularkräfte sowohl, als die Zeit eines Stosses müssten verschwindend klein sein, während wir soeben sahen, dass nach den Bedürfnissen der mechanischen Wärmetheorie selbst diese Bedingung nicht erfüllt sein kann, denn das Ueberwiegen der Abstossung kann nur allmählig eintreten, wodurch die Stosszeit lang wird, und die grosse Nähe und das längere Verweilen der Atome bei einander beim Aufeinanderprallen macht das Verschwinden der Molecularkräfte ebenso unmöglich, als das Auseinanderfliegen, wenn die Abstossung, die doch auch eine Molecularkraft ist, verschwindend klein wäre.

Nachdem wir in Krönigs Theorie der Gase schon erfahren haben, in welchem Verhältnisse die Geschwindigkeit der Atome der

1 *Clausius*, Poggendorff's Annalen. Bd. 100. S. 358.

verschiedenen Gase zu einander stehen, berechnet Clausius¹ sogar in einem mathematischen Zusatz der rubricirten Abhandlung die Grösse der Geschwindigkeiten selbst und findet die mittlere Geschwindigkeit eines Sauerstoffatoms bei dem Gefrierpunct gleich 461 Meter, die des Stickstoffatoms gleich 492 Meter und die des Wasserstoffatoms gar gleich 1844 Meter. Da ein Wassermolecül nur neunmal schwerer ist, als ein Wasserstoffatom, so muss die Geschwindigkeit der Wassermolecüle 615 Meter betragen; es ist kaum begreiflich, wie beim Aufeinanderprallen von Molecülen, die aus einzelnen Atomen bestehen, bei solcher ungeheuren Geschwindigkeit, also ungeheurer Stosskraft die Theilchen noch zusammenhalten können, dass nicht alle Molecüle sogleich in ihre Atome zersplittern; es ist kaum erklärlich, dass chemisch zusammengesetzte Gase existiren können und dass gar der Wasserdampf sich noch auf eine Spannung von 100 Atmosphären erhitzen lässt, wobei jene Geschwindigkeit der Molecüle sich noch um das Zehnfache steigern muss.

Man könnte vielleicht einwenden, das Aufeinanderprallen der Atome und die daraus entspringende Gefahr der chemischen Zersetzung von zusammengesetzten Gasen komme nur seltener vor; der Gas-Character beruhe ja nach Krönig's Theorie in einer steten geradlinigen Fortbewegung der Atome. Dem tritt aber Clausius selber entgegen. Als er in jener mathematischen Betrachtung die Geschwindigkeit der Gasatome gefunden hatte, hielt ihm Buijs-Ballot² entgegen: wenn die Atome mit so ungeheurer Geschwindigkeit in geraden Linien fortfliegen, so müssen sie ja in wenigen Minuten in sehr grosse Entfernungen rücken; es ist daher nicht erklärlich, warum einzelne Gasarten, z. B. Tabakrauch, in Ecken lange sitzen bleiben; noch unerklärlicher wäre aber dann, fügen wir hinzu, die Verdichtung der Gase an der Oberfläche fester Körper z. B. an Glasplatten, ohne dass dieselben ihre Gasnatur, die doch in der grossen Geschwindigkeit der Atome beruhen soll, einbüßen. In der antwortenden Abhandlung³ zeigt Clausius, dass nur etwa 37 Procente aller Gasatome jenen mittleren oder einen

1 *Clausius*, Poggendorff's Annalen, Band 100, S. 377.

2 *Buijs-Ballot*, Ebendas. Band 103, S. 250.

3 *Clausius*, Ebendas. Band 105, S. 252.

grösseren Weg durchlaufen in einer Secunde, während die übrigen 63 Procente kleinere Wege zurücklegen, weil sie, in die Wirkungssphären der Abstossung anderer Atome gelangend, von diesen zurückgeworfen werden. Abgesehen nun davon, dass dies zur Widerlegung obiger Einwände nicht ausreichend erscheint, ersehen wir hieraus wirklich, dass in jedem Augenblick ungeheure Mengen von Gasmoleculen aufeinander rennen sollen mit jenen gewaltigen Geschwindigkeiten, ohne sich zu zersplittern. Welche gewaltige Anziehung hat also die mechanische Theorie selbst in der Lehre von den Gasen nöthig, um deren Natur zu erklären. Und doch soll die Bewegung, die mechanische, das Mittel sein, die Erscheinungen zu erklären!

Jene Antwort von Clausius macht aber auch die Bewegung der Gasatome zu einer schwingenden, so dass bei ihm kein Unterschied mehr besteht zwischen dem inneren Wesen der Gase und der Flüssigkeiten, wenigstens, was die Bewegung angeht. Will man den Unterschied in die verschiedene Grösse der Anziehung legen, dann ist es ja überhaupt nicht mehr die Bewegung, nicht mehr Mechanik, was die mechanische Wärmetheorie zu ihren Erklärungen benutzt.

Clausius erklärt nämlich, in den Flüssigkeiten finde eine schwingende und rotirende Bewegung der einzelnen Molecüle neben der fortschreitenden statt. Da nun in den Gasen, wie früher erwähnt, die fortschreitende und rotirende Bewegung zu dem Wesenhaften gehört und so eben auch die schwingende hinzukam, so ist ein Unterschied zwischen dem Wesen der Gase und Flüssigkeiten nicht mehr ersichtlich. Zwar fügt Clausius hinzu, „bei den Flüssigkeiten sei die auseinandertreibende Wirkung der Bewegung im Verhältniss zu der gegenseitigen Anziehung der Molecüle nicht stark genug, um die Molecüle ganz von einander zu trennen.“ Worin aber liegt die auseinandertreibende Kraft der Molecüle? Doch nur in der lebendigen Kraft derselben, also in ihrer Masse und ihrer Geschwindigkeit, durch welche Factoren in ganz gleicher Weise auch die Temperatur bedingt ist. Haben nun ein flüssiger Körper und eine Luftart von gleichem Atomgewicht dieselbe Temperatur, so müssen ihre Atome auch dieselbe auseinandertreibende Wirkung besitzen; warum bleiben sie nun in der Flüssigkeit beisammen und fliegen in den Gasen auseinander?

Clausius kann die Ursache des Zusammenhaltens der Molecüle flüssiger Körper nur in einer stärkeren Anziehung derselben sehen, bedarf also dieser Kraft zur Erklärung der Natur des Flüssigen ebenso sehr, wie der Abstossung sowohl hier als bei den Gasen. Er spricht dies nicht nur in dem eben angeführten Satze, sondern auch noch später aus mit folgenden Worten: „In flüssigen Körpern, bleibt ein Molecül in der Anziehungsphäre seiner Nachbarmolecüle oder verlässt sie nur, um dafür zu andern Molecülen in eine entsprechende Lage zu kommen.“ Bleibt aber das Molecül in der Anziehungsphäre, so wird es ja nicht zurückgestossen; es ist also kein Grund vorhanden, warum es innerhalb dieser Sphäre hin- und herfliegen soll; sonach muss es zur Ruhe kommen und hat dadurch seine flüssige Natur sowohl, als seine Temperatur verloren. Wird dagegen das Molecül von einem zum andern geworfen, so bewegt es sich fortschreitend und schwingend, wo ist denn da der Unterschied zwischen dem flüssigen und luftförmigen Zustand geblieben? Wollte man nun endlich, allerdings entgegen der mechanischen Theorie, den Unterschied in einer grösseren Anziehung der Theilchen suchen, so müssen wir behaupten, dass die luftförmigen Körper gegeneinander gar keine Anziehung haben, da sie sich in den grössten Raum ausbreiten und von der Erde entfernen würden, wenn sie nicht von dieser angezogen würden; die flüssigen Körper aber haben, wie ihre absolut leichte Verschiebbarkeit beweist, nur eine an der Grenze Null stehende Anziehung, mit deren Grösse man Nichts erklären kann.

Den festen Körper endlich fasst Clausius auf als einen Zustand von Molecülschwingungen um gewisse Gleichgewichtslagen, welche nur dann verlassen würden, wenn äussere Kräfte, wie etwa Erschütterungen, auf den Körper einwirken; doch müssten die Molecüle auch wälzende Bewegungen haben und in ihnen könnten sich auch die Atome bewegen. Es treten also zur Erklärung des festen Zustandes drei verschiedene Bewegungen neben den Molecularkräften auf, welche vorhanden sein müssen, um den Gleichgewichtszustand möglich zu machen. Bei näherer Betrachtung aber ist dieser Aufwand zur Erklärung des Zustandunterschiedes nicht ausreichend, ja es entschlüpfen sogar die Grundlagen der Theorie unter den Händen. Es kann nämlich ein Molecül eines festen Körpers doch nur dadurch zurückschwingen, dass es auf die Abstossung-

sphäre eines andern Molecüls stösst, gerade wie ein Gasatom. Haben nun ein Stickstoff- und ein Schwefelatom, die nahezu gleiche Masse haben, eine und dieselbe Temperatur, so haben sie auch gleiche Geschwindigkeit, müssen daher beim Abprallen von einem andern Atom mit gleicher Geschwindigkeit umkehren. Dadurch gelangen sie nach Clausius in die Anziehungsphäre des zurückwerfenden Molecüls. Ist nun diese Anziehung in den Atomen beider Stoffe gleich gross, was man wegen ihrer gleichen Masse annehmen muss, so muss sie auch eine gleiche Verminderung der Geschwindigkeit in beiden zur Folge haben; es muss demnach jedes der beiden Atome so lange fortfliegen, bis es wieder in eine Abstossungssphäre gelangt; demnach ist kein Unterschied in der inneren Beschaffenheit einer Schwefel- und einer Stickstoffmasse. Wollte man aber annehmen, wie es Clausius für die festen und flüssigen Körper thut, das Atom des Schwefels bliebe in der Anziehungsphäre des Nachbaratoms, so muss es sofort zur Ruhe kommen, da in der Anziehungsphäre nichts Abstossendes sich befindet; es wäre dann alle Wärme zu Ende. Die Annahme der mechanischen Theorie erklärt also den Aggregatunterschied nicht.

Die Verdampfung erklärt Clausius auf folgende Weise: Wird ein Molecül durch ein günstiges Zusammentreffen der drei Bewegungen in einer Flüssigkeit von seinen Nachbarmolecülen aus der Anziehungsphäre derselben geschleudert, so geht es geradlinig weiter, ist ein Gasmolecül geworden. Dies ist um so mehr möglich, je höher die Temperatur, je stärker also die Molecularbewegung der flüssigen Masse ist. Ist der Raum über der Flüssigkeit geschlossen, so werden die so entstandenen Gasmolecüle theilweise auch wieder zur Flüssigkeit zurückgeworfen; Gleichgewicht findet statt, d. h. der Raum ist dampfgesättigt, wenn ebensoviele Molecüle in denselben fliegen, als durch den Rückgang condensirt werden.

Aus dieser Deutung der Verdampfung erklärt sich leicht, warum dieselbe vorzugsweise an der Oberfläche geschieht und warum ein anderes Gas über der Oberfläche die Verdampfung nicht hindert; denn zwischen den auftreffenden Atomen desselben ist noch Raum genug für die Dampfmoecüle. Im Innern der Flüssigkeit können sich erst Dämpfe bilden, wenn die Molecularbewegungen heftig genug sind, dass durch ein günstiges Zusammentreffen derselben eine Partie von Molecülen sich auseinander schleudert. Man

sieht leicht, dass dieses bei höherer Temperatur eher möglich ist, als bei niederer. Doch ist der ganze Vorgang der Verdampfung hier so sehr der Gunst des Zufalls anheimgegeben, dass Gesetze sich aus dieser Erklärung nicht ergeben. Die Anschauung von Clausius über diese Erscheinung sowohl, wie über viele andere wird uns wohl noch eingehender bekannt werden. Schon in der Einleitung der rubricirten Abhandlung, welcher zwar noch die über die mittlere Länge des Weges der Gasmolecüle und die Natur des Ozons folgen, verspricht Clausius eine vollständigere Auseinandersetzung für später. In derselben behandelt er daher den Vorgang der Verdampfung nur kurz; von den Wärmequellen bringt er nur diejenigen der Volumen-Veränderungen der Gase in ähnlicher Weise, wenn auch etwas eingehender, wie Krönig, zur Erklärung. Dagegen vermisst man die Erläuterung der Wärme-Entstehung durch die chemische Verbindung. Nur eine Einleitung dazu scheint Clausius einstweilen feststellen zu wollen. Er folgert nämlich aus der bekannten Thatsache, dass zwei Volumina einzelner Gase mit einem Volumen eines andern nur zwei Volumina der gasförmigen chemischen Verbindung geben, folgende Hypothese: die Kraft, welche die Entstehung chemischer Verbindungen verursacht und welche wahrscheinlich in einer Art von Polarität der Atome besteht, ist auch schon in den einfachen Stoffen wirksam und auch in diesen sind schon mehrere Atome zu einem Molecül verbunden. Damit tritt Clausius auch von seinem Standpunct aus der bekannten Substitutionstheorie bei, welche allerdings manche Wahrscheinlichkeit für sich hat. Eine Erklärung der Wärme-Entstehung durch chemische Verbindungen folgt aber nicht.

Fassen wir danach, in Erwartung einer vollständigen Darstellung des Wesens der Wärme von Seiten der mechanischen Wärmetheorie, den Grundinhalt derselben kurz zusammen:

Gänzliche Ruhe der Körpermolecüle und der Aetheratome ist die absolute, grösstmögliche Kälte; transversale Schwingungen der Aetheratome von 200 bis 800 Billionen in der Secunde bilden die strahlende Wärme; die Körperwärme besteht aus allerlei Bewegungen der Körpermolecüle, deren lebendige Kraft die Temperatur erzeugt. Bei den festen Körpern überwiegt die schwingende Bewegung, die ebenfalls in der ange-

führten Anzahl stattfindet; in den flüssigen finden sich die schwingende und die fortschreitende Bewegung ohne Ueberwiegen der einen von beiden, während in den luftförmigen Körpern die fortschreitende Bewegung den Hauptbestandtheil aller Bewegungen ausmacht.

Da die absolute Kälte, der absolute Nullpunct nicht besteht, so ist nach der mechanischen Wärmetheorie Alles in seinen kleinsten Theilchen in immerwährender, unendlich rascher Bewegung; selbst in dem festesten Stoff, in dem harten, zähen Stahl, in dem glatten Demant besteht Alles aus hin- und herschwirrenden, widereinander stossenden Theilchen. Diese neue Anschauung hat offenbar für das Gefühl etwas Widerstrebendes, der Stoff scheint uns in der Hand zu zerfallen, zu zerrinnen. Doch ist die Behaglichkeit der menschlichen Empfindungen kein Grund, die Wahrheit zu verschweigen; ausserdem verschwindet das Widerstreben bei tieferem Eingehen: die Kräfte der Molecüle, welche auch die mechanische Wärmetheorie nicht entbehren kann, sind stark genug, um die auseinander treibende Wirkung der Bewegung zu überwinden. Könnten alle Einwände so leicht besiegt werden, als jenes Gefühl, so würde der Satz: Wärme ist Bewegung, von Niemand mehr bezweifelt werden; es würde dann ein schönes Wort von Dove¹ Wahrheit sein:

„In der Mitte eines grossen finstern Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingung versetzt ist, und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingung fortwährend zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer, wenn der Stab vier Mal schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir Etwas von dem Dasein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl 32 in der Secunde und ein tiefer Basston schlägt an mein Ohr. Der Ton erhebt sich, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton, aber nun sinkt Alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das Gehörte fühle ich plötzlich von der Stelle her eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie sie ein Kaminfeuer aus-

¹ Dove, Darstellung der Farbenlehre, S. 91.

sendet. Aber noch bleibt Alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller, ein schwaches rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett Alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur zu verschiedenen Sinnen zuerst ein leises, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu, endlich ergreift mich auf den Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus un-messbaren Weiten.“

Druck von G. Kreysing in Leipzig.



Reis, Paul

Das Wesen der Wärme Versuch einer neuen Stoffanschauung der Wärme mit
vergleichender Betrachtung der übrigen jetzt gebräuchlichen Wärmetheorien.
In allgemein fasslicher Darstellung

Leipzig 1865

Phys.sp. 556 I

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10134592-8